ISSN 1880-0637

平成２３年度

# 生研センター研究報告会

平成２４年３月８日

独立行政法人　農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農　業　機　械　化　研　究　所

# 平成２３年度　生研センター研究報告会開催次第

１．開催日時　　平成２４年３月８日（木）

２．場　　所　　大宮ソニックシティ「小ホール」

（さいたま市大宮区桜木町 1-7-5　TEL：048-647-4111(代)）

３．日　　程

１）開　　会　　10:00

２）挨　　拶　　10:00～10:10

（１）(独）農業・食品産業技術総合研究機構

（２）農林水産省

３）情勢報告　　10:10～10:40

（１）農林水産省 生産局

（２）農林水産省 農林水産技術会議事務局

４）生研センターの研究内容報告　　10:40～12:20

（１）基礎技術研究部

（２）生産システム研究部

（３）園芸工学研究部

（４）畜産工学研究部

（５）評価試験部

（６）特別研究チーム（エネルギー）

（７）特別研究チーム（ロボット）

（８）特別研究チーム（安全）

《　昼　食　》　　12:20～13:30

５）個別研究報告　　13:30～17:00

（１）第４次農業機械等緊急開発事業の成果

①たまねぎ調製装置の開発

②可変径式ＴＭＲ成形密封装置の開発

③中山間地域対応型汎用コンバインの開発

④果樹用農薬飛散制御型防除機の開発

《　休　憩　》

（２）除染作業におけるはつ土板プラウ耕の耕深と表層土埋没深さとの関係

（３）高能率石礫除去機の開発

（４）高速作業が可能な不耕起対応トウモロコシ用播種機

（５）農業機械・資材への循環型バイオマスプラスチック導入に関する基礎研究

（６）農業機械のリスク低減のための基礎研究

６）総合討議　　17:00～17:30

７）閉　　会　　17:30

# 目　　次

# たまねぎ調製装置の開発

園芸工学研究部　　貝沼秀夫、藤岡修、紺屋朋子、
宮崎昌宏、大森定夫（現農研機構本部）
共同研究実施会社　株式会社クボタ、松山株式会社

## はじめに

本研究開発は、府県産の貯蔵乾燥されたたまねぎを対象として、根と葉を精度良く切除する調製装置の開発を目的に平成20年度から開始された。装置の試作・改良を行うとともに、佐賀県農業試験研究センター、兵庫県農林水産技術総合センターおよびJAさがの協力を得て、性能確認試験を実施してきた。ここでは開発の背景および開発機の構造および性能について紹介する。

なお、本研究開発は、第４次農業機械等緊急開発事業において、株式会社クボタ、松山株式会社との共同研究として実施したものである。

## １．開発の背景

わが国のたまねぎ栽培面積は24,100haで、北海道とそれ以外の府県でほぼ50%ずつの状況である[1)]。北海道産のたまねぎは、春に定植し秋に収穫が行われる。収穫後には、タッパと呼ばれる機械で葉切りだけを行い出荷している[2)]。夏から秋にかけての北海道は天候も良くたまねぎもほ場にある状態で乾燥が促進される。乾燥したたまねぎの根は、収穫作業の途中である程度は取れていくため、根切りという作業を特に行っていない。

これに対して府県産のたまねぎは、主に11～12月に定植し翌年の５～６月ころに収穫が行われる。ちょうど梅雨の時期で、たまねぎは水分をたくさん含んでおり、根も葉も旺盛な状態である。貯蔵性を高めるためには、収穫後十分に乾燥させる必要があり、乾燥の方法としては、茎葉を束ねて「吊り小屋」と呼ばれる貯蔵乾燥用の小屋に吊り下げて風乾する方法や、20kg容量のコンテナに入れて除湿乾燥施設などで保管する方法がある[3)]。しかし、根や葉は長いまま残っているので、出荷前に調製する必要がある。葉は１～２cm程度の長さに、根は残りの無いように切除する。このように切除する程度が違うため、１玉ずつハサミを用いて手作業で調製するしか方法が無く、調製作業には10a当たり45時間程度もの多くの労力を要している。

これまで農協では、選果と出荷について受託していたが、近年では貯蔵乾燥から調製作業の部分についても受託し、生産者の負担軽減に努めている事例も出てきた（図１）。しかし、調製作業の時期だけ多くの労力を確保することが難しく、産地からはたまねぎの調製作業を省力化する新たな技術開発が強く求められていた。

**図１　JAによるたまねぎ調製作業の状況**

## ２．開発の方向性と目標

現在、府県産の貯蔵乾燥されたたまねぎを対象とした調製機は数型式が市販化されている。これらは、屋内で利用する定置型の装置で、質量も30kg程度と比較的小型の装置である。作業者が

たまねぎの茎葉を装置の挟持ベルト部分に１玉ずつ供給し、回転するブラシが根を引き込み、カッタで根を切断する。その後、茎葉も別のカッタで切断する構造である。作業者が２秒に１個程度の速度で供給すれば 1800 個/h の処理が可能である。構造も比較的簡易で、低価格な優れた装置である。しかしながら、長時間にわたって２秒に１個の速度で供給し続けるのは困難である。また、調製後のたまねぎは 20kg 容量のコンテナに回収しているが、根や葉の調製状況を確認するためには、再度コンテナからたまねぎを取り出す必要があり、作業性や能率向上の観点から改善が求められていた。そのため、本研究開発における調製装置の開発方向および性能目標は以下のとおりとした。

１）開発機の対象は、府県産の貯蔵乾燥されたたまねぎとする。

２）農協などの共同調製施設などを想定した屋内で利用する定置型の装置とする。

３）たまねぎの供給は、コンテナ等でまとめて投入できるものとする。

４）たまねぎの向きを揃えるための自動整列の構造を備える。

５）作業能率は１秒に１個程度。

６）根は残りの無いように切除し、葉は１～２cm 程度残すように切り揃える。

７）作業精度については、上記のような適切り状態が８割程度以上。

８）作業者が腐敗球や調製状況を確認し、手直しが行い易い選別部を備える。

## ３．開発機の概要・構造

開発機は、供給部、整列調製部、選別部、排出部から構成されており、全長 5.2m、全幅 2.5m、全高 1.9m の大きさで、電源は AC100V である（図２、表１）。開発機を利用したたまねぎの調製作業は２名１組で行うことを基本とし、１名が供給部へのたまねぎの補給および周辺作業、他１名が選別部での作業を行う。

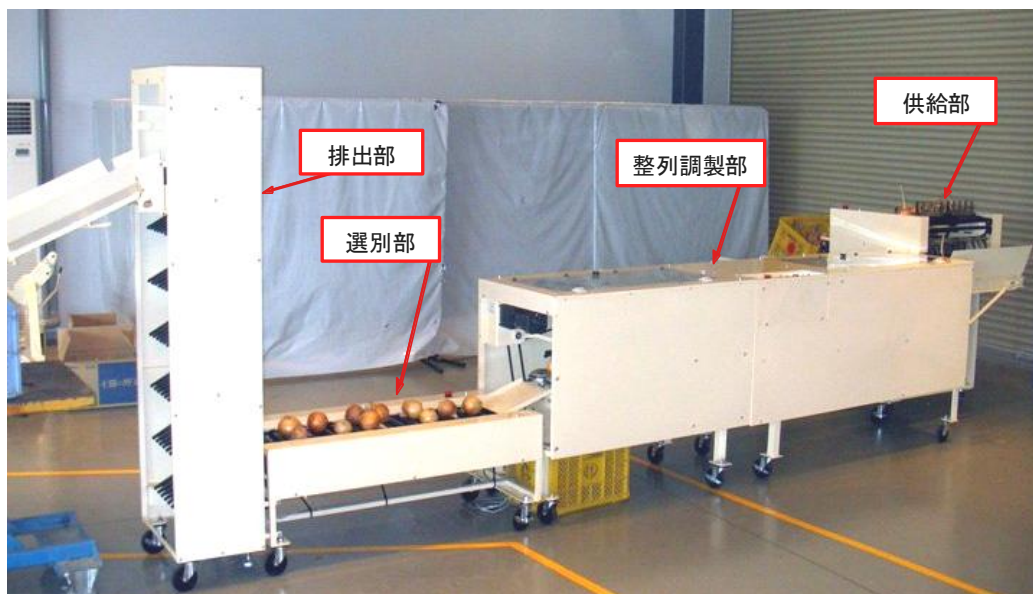



図２　たまねぎ調製装置

表１　主要諸元

| | |
|---|---|
| 寸法および質量 | 全長5.2×全幅2.5×全高1.9m、473kg |
| 電源および定格出力 | 100V、375W（供給部90、整列調製部225、選別および排出部60） |
| 供給部 | ホッパ容量：約0.1m$^3$ （20kg容量コンテナ２個分）<br>過剰供給を防止するリミットスイッチ付き |
| 整列調製部 | 搬送装置：ローラコンベア、挟持ベルト、スクリュウオーガ<br>たまねぎ球高検出：ポテンショメータ<br>根切り：ロールで根をしごきあげ、１対の円盤刃（φ 97mm）で切除<br>葉切り：１対の円盤刃（切り刃側φ 90mm、受け側φ 80mm）で切除 |
| 選別部 | 搬送装置：ローラコンベア |
| 排出部 | 搬送装置：爪付き上昇コンベア |
| 安全装置 | 非常停止スイッチ3ヶ所（供給部、整列調製部、選別部） |

１）供給部

供給部には約 0.1㎥のホッパがあり 20kg 容量のコンテナ２個分のたまねぎを貯留することができる（図４左）。ホッパに投入されたたまねぎは、爪付きの上昇コンベアで５～７個程度ずつ上昇搬送される。その後、上昇搬送方向と直交するコンベアに受け渡され整列調製部に供給される。コンベア部分には、リミットスイッチが設けてあり、供給されるたまねぎの量が過剰になると、供給の動作を一時停止し、整列供給部に対して一定量のたまねぎを供給するような構造が設けられている。

２）整列調製部

整列調製部は、たまねぎの向きを揃えながら搬送を行うローラコンベアやスクリュウオーガ、たまねぎの大きさを測定する球高検出センサ、根切りユニット、葉切り刃などで構成されており、供給されたたまねぎを１個ずつ分離し、向きを揃えて根切り、葉切りを行う。個々のローラが自転しているローラコンベア部分では、たまねぎの姿勢は、根が前方に茎葉が後方になるように整えられる。挟持ベルトでその姿勢を維持したままスクリュウオーガに受け渡され、スクリュウオーガ部分では、茎葉がオーガに引き込まれるように搬送されるため、根が上、茎葉が下になるような姿勢に整えられる。スクリュウオーガでの搬送中に、ポテンショメータを用いた球高検出センサでたまねぎの大きさを測定する。そのデータを基に、スクリュウオーガ上方に平行四辺形リンクで懸架された根切りユニットを、個々のたまねぎの大きさに適した高さ位置に制御し根切りを行う。根切りユニットは、一対のロールで根をしごきあげながら、円盤刃で根を切除する構造で、根を玉際で切除することができる。葉切りはスクリュウオーガの終端に設けた円盤刃で行う。刃の上部には半球形のカバーが設けてあり、刃とカバーの距離を変更することで、茎葉の切断長さを調節することができる。茎葉の状態やたまねぎの形状などによって切れ残る茎の長さが異なる場合があるので、処理するたまねぎに合わせて調節し、１～２㎝程度の長さに切り揃えるようにする（図３）。

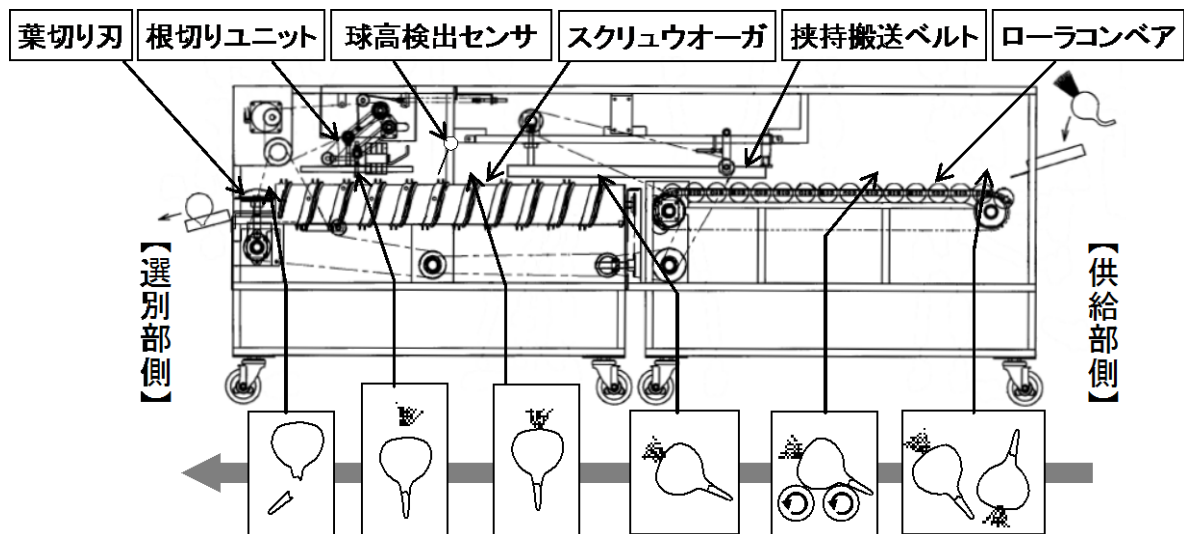



図３　整列調製部の構造と各部位におけるたまねぎの姿勢

３）選別部

整列調製部の後方に、長さ 1.2m のローラコンベアを選別部として設けた（図４右)。選別部では作業者が腐敗球などを除去するとともに、調製が不十分であったものを処理する。ローラコンベア上で、たまねぎは回転しながら搬送されるため、作業者は容易に調製状況を確認することができる。

４）排出部

排出部は爪付きの上昇コンベアなどで構成されている。たまねぎを 1.8m 程度上昇搬送し、大型のコンテナ（外寸 L1.8×W1.2×H1.1m）に貯留できる。大型コンテナの１ヶ所にたまねぎが偏らないように、作業者が手動で排出口シュートの向きを変更できるようになっている。

５）残さ回収方法と安全装置

整列調製部の下方に 30cm 程度の間隙を設け、そこにたまねぎを収容していた空のコンテナを設置できるようにした。このコンテナで切除した根や茎葉の他、搬送中に剥離した外皮などの残さを回収する。また、安全装置として、非常停止スイッチを供給部、整列調製部、選別部に設けており、緊急時にはどこの位置からでも装置を停止できるようにした。

図４　２名１組での作業状況（左：供給部へのたまねぎ補給、右：選別部での作業）

４．開発機の性能確認試験および利用試験

１）性能確認試験

開発機の性能を確認するため、JA さがのたまねぎ選果場に装置を設置し作業速度、根切り葉切りの作業精度の確認試験を実施した。供試品種は「ターザン」で、府県において貯蔵乾燥させて出荷するたまねぎの主力品種である。５月上旬に収穫したものを 20kg 容量のコンテナに収容し、除湿乾燥庫で貯蔵乾燥させていたものである。調製の作業速度については、処理個数と処理時間を計測し求めた。作業精度については、すべての根が１cm 以内に切断されたもので、茎葉が１～２cm 程度の長さに切断されているものを「適切り」、それ以上のものを「浅切り」、全く切断されていないものを「未切断」、目的の状態より深く切り込まれたものを「深切り」と区分し、個数割合を求めて作業精度とした（図５）。なお、１cm 以上の根があっても３本以内であれば、その後の玉磨きや選別などの選果場の作業工程で取れるものとして「適切り」に含めた。

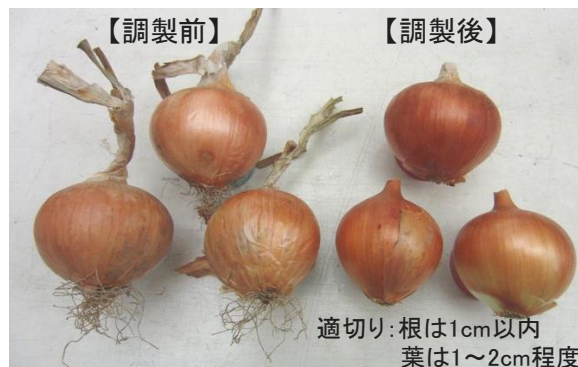



図５　調製前後のたまねぎ（品種「ターザン」）

開発機の適切り率については、根が 86％程度、葉が 98％程度、根と葉のいずれも適切りであったものが 86％程度であった（表２）。また、機械的損傷はほとんど無く、適切り以外のものはすべて浅切りであった。作業速度は、１秒に１個程度の速度でたまねぎの根と葉を切除することができ、２名１組で作業を行った場合、腐敗球の除去、調製が不十分であったものの処理を含め、1700 個/人･h 程度の能率であった。

表２　平均作物条件と作業精度

| 球高 [mm] | 球径 [mm] | 茎葉長 [mm] | 根長 [mm] | 全質量 [g] | 球重 [g] | 適切率 [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 79 | 90 | 155 | 43 | 321 | 319 | 86 |

試験日：2011 年 8 月 10 日
試験場所：ＪＡさが白石玉葱第 3 選果場
品種：「ターザン」
適切：根は 1cm 以内、葉は 1～2cm 程度で切除されているもの。
供試個数：作物条件 30 個、作業精度 440 個

２）利用試験

JA さがのたまねぎ選果場では、20kg 容量のコンテナ 48 個を作業単位として調製作業を実施しているが、その作業をどの程度の時間で行えるか、切断した根や葉などの残さは詰まらないか、などを調査した。その結果、切断した根や葉などの残さは、装置下に設置した回収用コンテナに落下し、切断部品や搬送部品に詰まることなく作業を実施することができた。48 個のコンテナ処理時間は 50 分程度であった。これは、1680 個/人･h 程度の能率となり、性能確認試験の結果とほ

ぼ同等であった。また、選別部での作業について、座った姿勢より立った姿勢の方が動き易いので、選別部を高くしてはどうかなど作業性に関する改善意見も作業者より得られた。

### ３）慣行作業調査

慣行手作業による調製作業の能率を調査するため、JA さがの選果場において、処理個数と作業時間を調査した。また、JA さが全体の雇用人数、処理量などの記録から、コンテナの入れ替えや休憩時間などすべての作業を含めた平均的作業能率も調査した。

調査対象の作業者は熟練者で、たまねぎ 50 個の根および葉の切り取り作業を３分 30 秒程度で行っていた。この結果から１個当たり４秒程度で調製を実施しており、890 個/h･人の作業能率であった。

また、JA さが全体としての作業記録からみると、平均１日 80 名の作業者で 20kg 容量コンテナ 4000 個の処理を行っており、１コンテナ当たり 70 個とすると平均的作業能率は 450 個/h･人であった。

### ４）慣行作業との比較

性能試験や利用試験の結果から、開発機は 1700 個/人･h 程度の処理能力を有していることが確認でき、慣行手作業能率 890 個/h･人と比較して２倍程度の作業能率であると考えられた（図５）。また、JA 職員からは、コンテナの入れ替えや休憩時間などすべての作業を含めた平均的作業能率は 450 個/h･人にとどまっており､開発機を利用することで作業効率の向上も期待できるため､施設全体の処理量増加につながる可能性があるとの意見も得た。

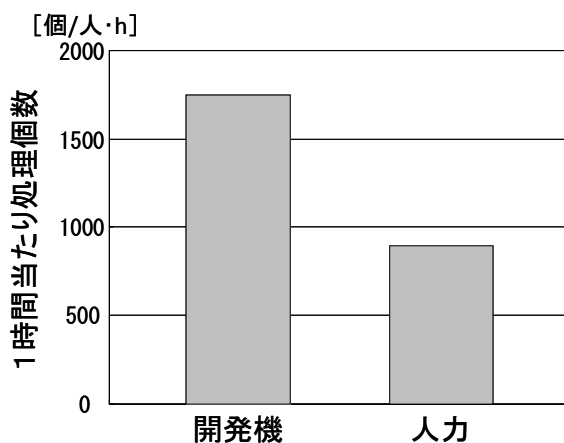



図５　作業能率

## ５．利用にあたっての留意点

開発機は、貯蔵乾燥されたたまねぎを対象とした構造のため、十分に乾燥が進んでいない「青切りたまねぎ」とか「新たまねぎ」などと呼ばれるものを調製した場合、玉の部分に傷が付く恐れがある。また、選別部、排出部は、設置レイアウトや利用する収納容器によって構造、寸法は検討する必要がある。

## ６．まとめ

生研センターでは、第４次農業機械等緊急開発事業において、株式会社クボタ、松山株式会社と共同で、多くの労力を要している貯蔵乾燥させたたまねぎの根と葉の切り取り作業を、自動で精度良く行うことができるたまねぎ調製装置を開発した。開発機は、コンテナ単位で投入されたたまねぎを１玉ずつ分離し、向きを一定に揃え、根の切り取りと葉を１～２㎝程度の長さに切り

揃えることができる。開発機の適切り率は、根と葉のいずれも適切りであったものが 86%程度であった。機械的損傷は、ほとんど無く、適切り以外のものはすべて浅切りであった。２名１組で作業を行い、１秒に１個の速度でたまねぎを調製することができ、慣行手作業の２倍に相当する 1700 個/人･h 程度の作業能率であった。

## おわりに

開発機は、耐久性の確認、メンテナンス性の向上を図り、平成 24 年度中の市販化を目指している。今後も各方面と連携し技術の普及に努め、府県のたまねぎ生産に貢献したいと考えている。
本研究開発の実施に当たっては、佐賀県農業試験研究センター、兵庫県農林水産技術総合センターおよび JA さがより多大なご協力を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

## 参考文献

１）農林水産省. 2010. 平成 20 年産野菜生産出荷統計.
２）Takenaka,H. 2010. The mechanization forefront of vegetables in Hokkaidou. Journal of JSAM、72(3)、196-201.
３）Ito,H. 2010. The forefront of mechanization of onion production in Saga prefecture. Journal of JSAM、72(3)、216-220.
４）生研センター. 2009. 平成 20 年度事業報告、98-99.
５）生研センター. 2010. 平成 21 年度事業報告、112-113.
６）生研センター. 2011. 平成 22 年度事業報告、112-113.

# 可変径式ＴＭＲ成形密封装置

畜産工学研究部　橘　保宏、川出哲生、
志藤博克（現基礎技術研究部）
北海道立総合研究機構根釧農業試験場　関口建二
広島県立総合技術研究所畜産技術センター　神田則昭
鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター　山名伸樹
共同研究実施会社　株式会社 IHI スター

## はじめに

近年、輸入飼料価格が高騰する中、飼料生産・調製作業の外部化による酪農畜産経営の省力化が求められており、TMR センターを核として、サイレージや食品製造副産物を積極的に利用できる発酵 TMR（粗飼料と濃厚飼料を混合し発酵処理した飼料）の普及が期待されている。

発酵 TMR は、比較的保存が利き作り置きができる、開封後も変敗しにくい、食品製造副産物（エコフィード）が活用できる、 牛の嗜好性が良くなる、食べ残しが無くなるなど、牛の餌としての優れた特徴を持ち、さらに、広域流通に載せ易いなどメリットが大きい。このため、多くの TMR センターが発酵 TMR に調製し農家へ出荷している。

発酵 TMR に調製するためには梱包作業が不可欠であるが、TMR センターでは、一般的にフレコンバッグを利用した梱包作業が行われている。しかし、この方法は、フレコンバッグの内側にビニール袋を入れ、TMR を投入した後、ビニール内の空気を掃除機等で吸引しながら、ビニールの上部を縛る必要があり、さらに梱包した数日後に内部で発生したガスを抜く作業が別途必要となるなど、多くの手間のかかるため梱包作業の省力化が望まれている[1)]。また、夏場にカビが発生することが報告されておりその解決が大きな課題となっている。このため、最近では、細断型ロールベーラを利用することによって、梱包作業にかかる労働時間の削減と高密度梱包による高品質化を図る TMR センターが見られるようになってきた。しかし、梱包作業を行なっている全国の TMR センターのメニュー毎の設定質量は、約 200 kgから 900 kg程度まで幅があり[1)]、従来の細断型ロールベーラでは、成形室が定径であるため要望の大きさ・質量にあわせることが難しい状況にある。

そこで、生研センターでは、平成 20 年度から第４次農業機械等緊急開発事業において、株式会社 IHI スターと共同で、微細な材料を含む TMR を農家のニーズに応じて、直径の異なる高密度なロールベール（以下、ベール）に成形密封できる可変径式 TMR 成形密封装置（以下、開発機）の開発を行ったので、その概要について報告する。

## １．開発目標

開発に当たっては、細断型ロールベーラの特徴である高密度梱包が可能であること[2) 3)]、梱包作業の自動化が可能であること、異なる直径のロールベールに成形・密封できる梱包装置とすることをねらいとした。また、酪農家の飼料混合調製作業を肩代わりする役割を担い、近年急速に普及している TMR センター[4)] を開発機の主な利用対象と位置づけ、これまでに行なった TMR センターに関する調査結果等から、具備すべき性能等の目標を次のとおり設定した。

（１）ベールの直径可変範囲は、0.85m～1.1m（含水率約 50％のとき概ね 400～700kg に相当）

（２）乾物密度は、細断型ロールベーラと同等の 300 kg/㎥以上

（３）処理能力は、12t/h（含水率 50％程度）以上

## ２． 開発機の仕様と特徴

### １）仕様と各部の機能

開発機の主要諸元を表１に示す。開発機は、荷受部、供給コンベア、ネット装置、可変径式成形部、密封部および還元部で構成される（図１）。荷受部に投入された TMR は、供給コンベアを通じて可変径式成形部へ投入される。可変径式成形部内の成形室は、幅 0.86m の３本の幅広ベルトとプレスローラで構成され、投入される TMR の量に応じて、ベール径を最小径 0.85m から最大径 1.1m に変えられ、成形中にプレスローラで荷重を加えることで高密度なベールを成形することができる。ベールが設定した大きさに達すると供給コンベアが停止し、ネット装置からネットが繰り出され、所要の回数で結束した後、成形室が開きベールが放出され、密封部へ送られる。ベールは密封部でラップフィルムによって密封され、後方へ放出される。

**表１　開発機の主要諸元**

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 機体全長（m） | 8.9 |
| 機体全幅（m） | 3.3（移動時 2.35） |
| 機体全高（m） | 2.9 |
| 荷受部容量（$m^3$） | 2.7 |
| 成形室 | 幅広ベルト可変径式 |
| 成形室幅（m） | 0.86 |
| 成形室直径可変範囲（m） | 0.85～1.1 |
| 結束方式 | ネット<br>（巻き数自動調節機能付き） |
| 密封方式 | 上アームダブルストレッチ<br>（ベール上下位置自動調節機能付き） |
| 適応トラクタ（kW） | 37 以上 |

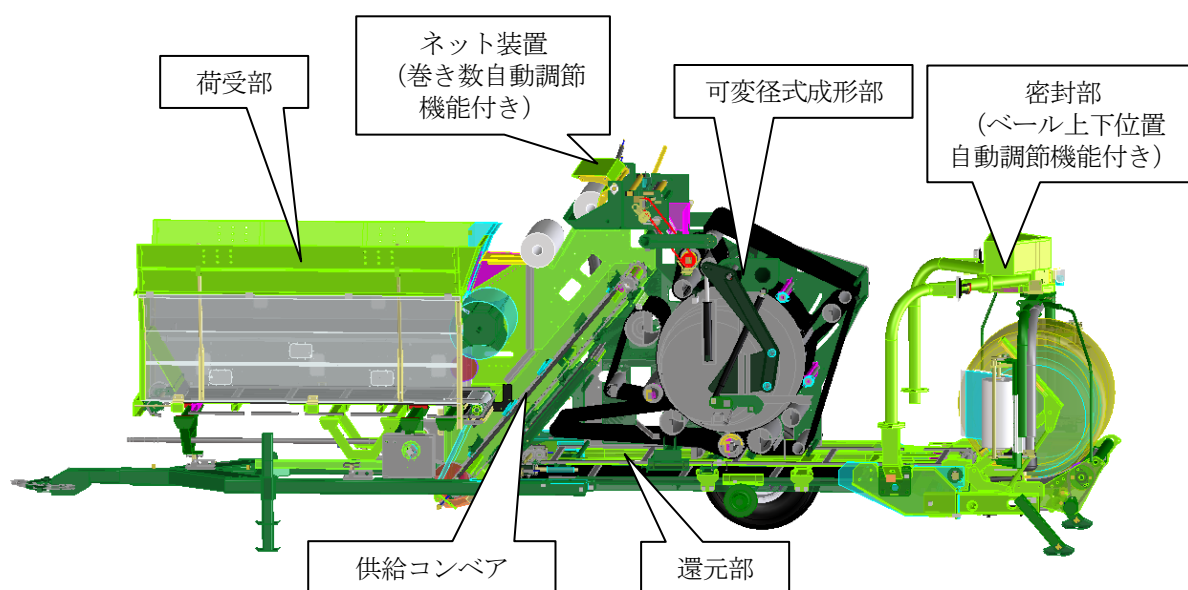



**図１　開発機の概要**

## ２）開発機の特徴

開発機の特徴を以下に示す。

（１）TMR の量を変えても高密度梱包（可変径式）

成形室直径は、投入される TMR の量に応じて大きくなり、直径が約 0.8m より大きくなると、成形室のプレスローラがベールに荷重をかけ始め、ネット結束時まで荷重をかけ続けることで、梱包密度を増加させる構造である（図２）。このため、直径可変範囲内であれば、どの時点で TMR の供給を止めても、放出後のベールはその大小にかかわらず高密度になる。プレスローラ荷重は変更可能で、事前に調べたベール放出時のベール形状やこぼれ、乾物密度から、設定直径が 0.85m の時のプレスローラ荷重を 5kN、その他の直径では 8kN とした。

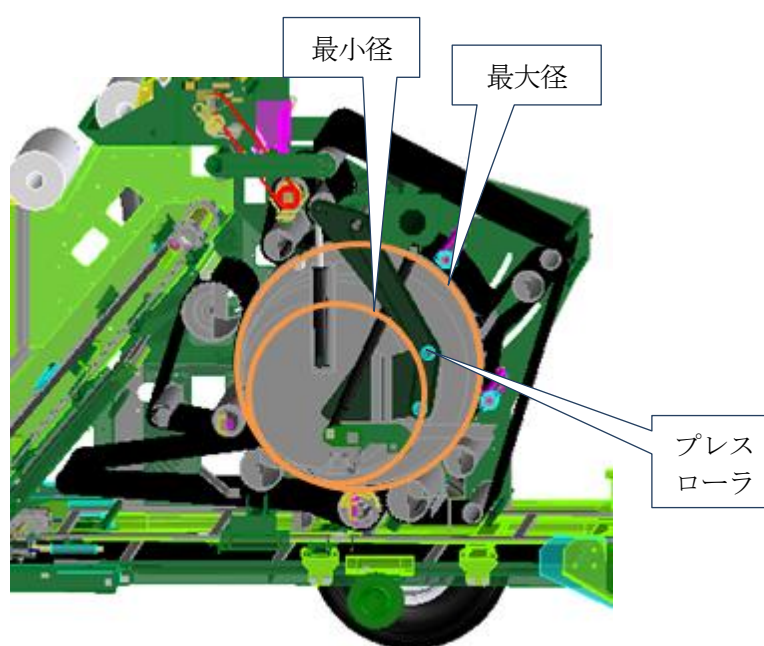



**図２　成形室の概要**

（２）ベールの大きさ（直径、質量）を設定可能

開発機で成形するベールは、TMR の構成材料や含水率などによって同じ直径でも質量が異なるが、あらかじめ最大径と最小径の質量を把握しておくことで希望の直径または質量の設定ができる。設定後は、スタートボタンを押すだけの簡単な操作で、TMR を希望の大きさのベールに成形密封する構造である。なお、質量設定の場合の入力値と成形密封後の質量差は約±10kg 以下である。

（３）異なる直径のベールに対応

ネット装置は、ベールの直径に応じて設定したネット巻数とする自動調節機能を持つ。密封部は、ベールのほぼ中心へラップフィルムが当たるようにするため、ベールの直径に応じてベールの位置が自動的に上下に移動する機能を持つ。

（4）こぼれへの対策

還元部は、成形中に発生するこぼれによる損失量を減少させるため、成形中および放出時にベールから落下したTMRを還元部のコンベアで荷受部方向へ移動させ、再び供給コンベアへ投入する機能を持つ。

## 3．開発機の性能

### 1）試験方法

開発機のTMRへの適応性を確認するための成形密封試験と、主に耐久性等を確認する長期連用試験を並行して行うため、移動が容易なトラクタ駆動仕様の試作２号機とTMRセンター等施設内への設置を前提としたモーター駆動仕様の試作３号機を製作し試験に供した。

成形密封試験（図３）は、試作２号機に材料の構成割合、含水率、パーティクルサイズ等が異なる７種類のTMR（表２）を供試した。成形室の設定直径を0.85、1.1mおよびその中間径の３段階とし、測定項目は、ベール直径と幅、ベール質量、成形から密封までに発生するこぼれによる損失質量、成形・放出・密封に要する時間、所要動力とした。ベールの体積と質量および含水率から、乾物密度を算出し、成形・放出の時間とベール質量から、毎時処理量を算出し、損失質量とベール質量から、損失率を算出した。最大所要動力は、成形開始からネット結束終了までに10ms間隔で採取した所要動力の３秒間の移動平均の最大値とした。TMR-CとTMR-Eの２ヶ月後までの発酵品質を調査した。また、現地TMRセンターのご協力をいただき、試作３号機を施設内に設置し７月～12月まで長期連用試験を行った。

図３　TMR成形密封試験状況

表2 供試 TMR

| 供試 TMR | 対象牛 | 材料内訳（乾物%） | | 含水率（%） | 平均パーティクルサイズ（mm） |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 粗飼料 | 濃厚飼料※ | | |
| A | 泌乳牛 | 40 | 60 | 56.2 | 7.3 |
| B | 乾乳牛 | 65 | 35 | 69.1 | 10.0 |
| C | 肉用牛 | 20 | 80 | 44.3 | 6.8 |
| D | 乾乳牛 | 63 | 37 | 35.7 | 6.5 |
| E | 泌乳牛 | 30 | 70 | 33.3 | 5.5 |
| F | 泌乳牛 | 30 | 70 | 46.7 | 6.1 |
| G | 泌乳牛 | 30 | 70 | 54.4 | 6.5 |

※：濃厚飼料にはミネラル等の添加剤を含めた。

２）試験結果

TMR を図４の通り最大径〜最小径に成形密封することができた。成形密封試験の結果を表３に示す。ベール直径は概ね設定通り 0.85〜1.1m の範囲で成形することができ、この直径の範囲で目標の質量範囲を概ね満たすと判断された。乾物密度についても概ね目標とする 300kg/m³以上（粗飼料主体のものは 200kg/m³）となった。成形密封２ヶ月後の発酵品質は良好であった（表４）。最大所要動力はいずれの TMR でも最大径で最大となり、その最大値は 23kW であった。成形から密封までに発生する損失割合は 1%以下で、毎時処理量は 8〜18t/h であった。

試作３号機の長期連用試験によって、一部摩耗箇所等を特定することができた。また、粗飼料主体のセミコンプリートフィード等の場合、機体内に滞留する箇所があり、プレスローラの円滑な動きに影響することが確認された。そのため、長期連用による耐久性試験を継続するとともに、機体内の滞留への対策やセミコンプリートフィード等への適応性拡大を図る必要があると判断された。

図４　開発機で梱包したロールベール（左：最大径（1.1m）、右：最小径（0.85m））

表3 成形試験結果

| 供試<br>TMR | ベール直径<br>範囲（m）<br>最小～最大 | ベール質量<br>範囲（kg）<br>最小～最大 | ベール<br>質量比<br>（最大／最小） | 乾物密度<br>(kg/m³) | 損失割合<br>(%) | 毎時処理量<br>(t/h) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0.86～1.12 | 361～686 | 1.90 | 311～350 | 0.3～0.6 | 13.9～17.7 |
| B | 0.86～1.10 | 352～638 | 1.81 | 206～238 | 0.3～0.4 | 11.3～13.5 |
| C | 0.87～1.10 | 352～704 | 2.00 | 388～474 | 0.3～0.5 | 12.7～14.6 |
| D※ | 0.91～1.14 | 258～474 | 1.84 | 296～348 | 0.4～0.6 | 8.1～8.3 |
| E | 0.87～1.13 | 324～559 | 1.73 | 424～438 | 0.7～0.9 | 12.0～13.1 |
| F | 0.88～1.12 | 364～642 | 1.76 | 373～401 | 0.4～0.5 | 15.4～16.7 |
| G | 0.87～1.11 | 434～739 | 1.70 | 385～401 | 0.3 | 11.8～14.9 |

※：試験回数は3回、ただしDの最大径の試験回数は1回。

表４　発酵品質調査結果（8月4日梱包、62日後）*

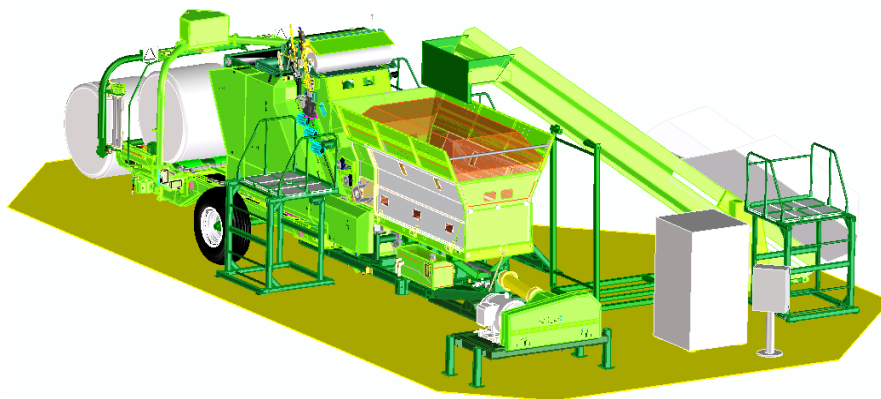
| 項目 | 梱包前TMR | 梱包貯蔵後 | | 評価基準 |
|---|---|---|---|---|
| | | 開発機 | フレコンバッグ | |
| pH | 4.2 | 3.9 | 4.0 | 4.2以下が良 |
| アンモニア態N(%) | 0.02 | 0.05 | 0.07 | － |
| 乳酸（%） | 2.38 | 3.02 | 3.28 | － |
| 酢酸（%） | 0.44 | 0.53 | 0.65 | － |
| プロピオン酸（%） | 0.01 | 0.02 | 0.03 | － |
| 酪酸（%） | 0.02 | 0.02 | 0.02 | － |
| V-score | 96 | 89 | 86 | 80以上が良 |
| カビの有無 | 無 | 無 | わずかに有 | 無が良 |

＊：北海道立総合研究機構根釧農業試験場調べ

## おわりに

生研センターでは、株式会社IHIスターと共同で、微細な材料を含むTMRを農家のニーズに応じて直径の異なる高密度なベールに成形密封できる可変径式TMR成形密封装置の研究開発を進め、その結果、TMRへの適応性を確認し平成24年度中の実用化の見通しを得た。

なお、現場のTMRセンターからは、TMR以外の梱包材料についても適応性を確認・拡大してほしいとの要望があるため、今後、TMRの原料や粗飼料主体のセミコンプリートフィード等への適応性拡大に取り組む計画である。

本研究の推進にあたり、現地試験等において、山形県最上総合支庁および真室川町酪農家、タイセイ飼料株式会社の方々には、大変忙しい中、試験等へ多大なご協力と助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

**導入時のレイアウトイメージ図（モーター駆動仕様）**

## 参考文献

1）川出哲生・橘 保宏・志藤博克（2009）：TMR センターの混合飼料調製・出荷作業に関するアンケート調査結果概要、生研センター

2）増田隆晴・平久保友美・越川志津（2007）：細断型ロールベーラを活用した発酵 TMR 調製技術、日本草地学会誌、53（別）314-315

3）平岡啓司・山本泰也・乾 清人・浦川修司（2006）：細断型ロールベーラを用いれば高品質発酵 TMR が調製できる、平成 18 年度関東東海北陸農業・畜産草地（草地）研究成果情報［技術・参考］

4）農林水産省生産局畜産部（2009）：飼料をめぐる情勢
http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/tikusan/bukai/h2103/pdf/data3_2.pdf

# 中山間地域対応型汎用コンバインの開発

## ー小型汎用コンバインー

生産システム研究部　梅田直円、栗原英治、嶋津光辰、
宮原佳彦、杉山隆夫（現退職）
共同研究実施会社　　三菱農機株式会社

## はじめに

中山間地など大区画化が困難な地域において水稲、麦、大豆等を複合的に栽培する経営体では、水稲および麦の収穫には４条刈り自脱コンバイン、大豆の収穫には大豆用コンバインを使用するため、コンバインを複数台所有する必要がある。コンバインを複数台所有することで収穫における機械装備費が高くなり、農作物の生産費を押し上げる結果となっている。収穫における生産費の低減を図るためには、コンバイン本体価格の低減に加え、コンバインの汎用化がある。汎用化については、生物系特定産業技術研究支援センター（以下、生研センター）は、1985 年に汎用コンバイン（刃幅 2m)、1994 年に大型汎用コンバイン（刃幅 3.5m）を実用化しており、これら市販機は、稲、麦、大豆をはじめ多様な作物の収穫に利用されている [1),2)]。汎用コンバインを導入できれば複数のコンバインを１台に減らすことができ、収穫に要する機械装備費を約半分以下に低減できる。しかし、市販されている汎用コンバインは、重量が 4t 以上あり、機体が大きく、搬送に大型のトラックが必要であるため、幅の狭い農道や区画整備が進んでいない地域への導入は困難であり、小型の汎用コンバインの開発が求められている。

そこで、生研センターは三菱農機(株)と共同で、第４次農業機械等緊急開発事業において、平成 20 年度から平成 23 年度まで、大型のトラックの通行が困難、あるいは、小区画なほ場で分散したような条件不利地域においても利用可能な小型の汎用コンバインの開発に取り組んだ。平成 20 年度には脱穀部および刈取り・搬送部の室内基礎試験、平成 21 年度には要素試験機による脱穀部および刈取り・搬送部のほ場試験、平成 22 年度には試作機による水稲、麦、大豆のほ場試験、平成 23 年度には岩手県農業研究センター、飯豊沢田地区営農組合（岩手県遠野市）の協力を得てモニター試験を行い、小型の汎用コンバインを開発した。

ここでは、開発した小型汎用コンバインについて報告する。

## １．開発目標

水稲、麦、大豆、ソバ、ナタネ等を複合的に栽培する 10～20ha 規模の集落に対応し、大型のトラックの通行が困難、また、分散した小区画ほ場のような条件不利地域においても利用可能とすることを前提に以下の開発目標を設定した。

① ４条刈り自脱コンバイン程度の大きさで、刃幅は 1.5m 程度とすること。
② 小型の脱穀・選別機構を有する。脱穀は省エネルギ化を図る。
③ 対応する自脱コンバインや大豆用コンバインと同等の作業性能を有する。
④ 公道の走行が可能な構造とする。
⑤ 汎用性を増し、稼働時間を拡大するため、耐久性およびメンテナンス性を重視した構造とする。

開発目標①の詳細な寸法を設定するために、文献等を調査し、全長を 4,500mm、刈り幅を 1,500mm、また、機関出力を 44.1kW(60ps)とした。開発目標②の脱穀部こぎ胴の詳細な寸法を室内基礎試験の結果および機体のバランス等から 1,700mm と設定した。また、小型化による脱穀損失の増加の抑制および省エネルギ化を図るために、新たな技術の導入を検討することとした。開発目標③を設定するため

に市販汎用コンバインの水稲収穫作業の調査を行った。その結果、水稲収穫作業における目標とする性能を、脱穀選別損失 3%未満で作業速度 1.0m/s 以上と設定した。また、開発目標④および⑤は、設計事項として盛り込むこととした。

## ２．小型汎用コンバインの構造と特徴

１）開発機の構造

開発機は、スクリュ型脱穀機構を備えた小型の汎用コンバインである（図１）。

市販の汎用コンバインおよび４条刈り自脱コンバインと比較した主要諸元を表１に示す。本開発機は、走行部、刈取り部、脱穀選別部から構成されている。機体寸法は、全長 4.85～5.51m、全幅 2.15m と４条刈り自脱コンバインと同等である。質量は 3.4～3.7t、接地圧は 22.2～23.9kPa であり、市販汎用コンバインよりも湿田への適応性が高い。刈取り部はリール式で水稲、麦、大豆等の多様な作物に適応可能である。刈り幅は 1,700mm であり、水稲（条間 30cm）では５条刈り取れる。脱穀方式は市販汎用コンバインと同様に軸流式スクリュ型脱穀機構 [3]を備えており、コンケーブの交換、こぎ胴回転速度の変速により水稲をはじめ多様な作物を収穫可能である。こぎ胴回転速度の変更は、こぎ胴軸プーリーを交換することなく、回転速度切り替えレバーの操作で変更可能である。

図１　小型汎用コンバインの外観

表１　小型汎用コンバインの主要諸元

| | 機種 | 小型汎用 | | 汎用（市販） | 4条自脱(例) |
|---|---|---|---|---|---|
| | キャビン・スプレッダ | 無・無 | 有・有 | 有・有 | 有・無 |
| 機体 | 全長 (mm) | 4,850 | 5,510 | 6,225 | 4,350 |
| | 全幅 (mm) | 2,150 | | 2,350 | 1,990 |
| | 全高 (mm) | 2,610 | 2,630 | 2,760 | 2,360 |
| | 質量 (kg) | 3,400 | 3,720 | 4,780 | 2,910 |
| | エンジン出力 (kW・ps) | 46.6・63.4 | | 80.9・110 | 46.6・63.4 |
| 走行部 | クローラ幅×接地長 (mm) | 450×1,670 | | 500×1,780 | 450×1,670 |
| | 接地圧 (kPa) | 22.2 | 23.9 | 26.3 | 20.0 |
| | 作業速度　標準 (m/s) | 0～1.40 | | 0～2.00 | 0～1.60 |
| | 高速 (m/s) | 0～2.28 | | 0～2.81 | 0～2.60 |
| 刈取り部 | 前処理方式 | リール | | | 引き起こし |
| | リール　径×幅 (mm) | 1,000×1,450 | | 1,000×1,920 | ー |
| | 回転数 (rpm) | 22～33 | | 13～43 | ー |
| | 刈り幅 (mm) | 1,700 | | 1,976 | 1,450～1,500 |
| 脱穀選別部 | 脱穀方式 | 軸流式(スクリュ型) | | | 複胴下こぎ |
| | こぎ胴径×長さ (mm) | φ 600×1,700 | | φ 590×2,170 | φ 410×810 |
| | 回転速度　稲・麦 (rpm) | 710 | | 710 | 457/562 |
| | 大豆 (rpm) | 310 | | 310 | ー |
| | 2番還元方式 | スクリュ＋スラットコンベア | | オーガ、ロータ | ー |
| | 選別方式 | 揺動、とうみ | | | |
| | 揺動板　幅×長さ (mm) | 700×1,410 | | 800×1,760 | 600×1,370 |
| グレンタンク容量 (L) | | 1,300 | | 1,900 | 1,500 |

2）開発機の特徴

開発機は開発目標の各項目を満たすために以下の特徴を有している。

① 開発機は４条刈り自脱コンバイン程度の大きさであり、質量は3.7t 程度である。そのため、市販の汎用コンバインの運搬には大型のトラックが必要であったが、開発機では4t トラックで運搬可能である（図２）。

a)大型トラックに積載された市販汎用コンバイン　　b)4t トラックに積載された小型汎用コンバイン

図２　汎用コンバインの運搬状況

②・③ 脱穀・選別機構の小型化・省エネルギ化、また、対応する自脱コンバインや大豆用コンバインと同等の作業性能を確保するために、送塵弁開度制御機構、フッ化樹脂コートを施した揺動選別部、狭ピッチ切断部等の農研機構で開発した新たな技術を導入した。これらの新たな技術については、次項においてより詳しく述べる。

④ 開発機は方向指示灯および前照灯等を装備し、保安基準に適合した機体構造をしており、公道を走行可能である。

⑤ メンテナンス性を向上させるために、こぎ胴サイドカバーを跳ね上げ式とし、スライド引き抜き式の揺動選別部とした（図３、図４）。サイドカバーや揺動選別部が部品の組換え・調整、機体内の清掃等が容易な構造となり、対象作物を変更する時の作業者の負担が軽減されることから多様な作物へ使用されることが期待される。

図３　跳ね上げ式サイドカバー

図４　スライド引き抜き式揺動選別部

### ３．小型汎用コンバインに導入した新たな技術

脱穀部の小型化・省エネルギ化を図るための送塵弁開度制御機構、大豆の汚粒を低減するためのフッ化樹脂コートを施した揺動選別部、大豆の頭部損失を低減するための狭ピッチ切断部等の農研機構で開発した新たな技術を導入した（図５）。

図５　小型汎用コンバインの構造

１）送塵弁開度制御機構

送塵弁は、こぎ室で籾とわらくずの混合物が滞留する時間を調整する機能がある。送塵弁の開度を大きくする（開く）と、脱穀動力は小さくなるが、損失が大きくなる可能性がある。逆に、送塵弁の開度を小さくする（閉める）と、損失は低減するが、脱穀動力が大きくなる可能性が増加する。従来のコンバインでは、収穫作業時に送塵弁があらかじめ設定した位置で固定されているため、こぎ室に供給される収穫物が増加すると混合物の滞留量が増加し、脱穀動力が大きくなる。送塵弁開度制御機構は、混合物が過度に滞留し送塵弁にある一定以上の力が作用すると、送塵弁が開いて一時的に混合物を逃し、脱穀動力を安定化し低減する機構である[4)]（図６）。

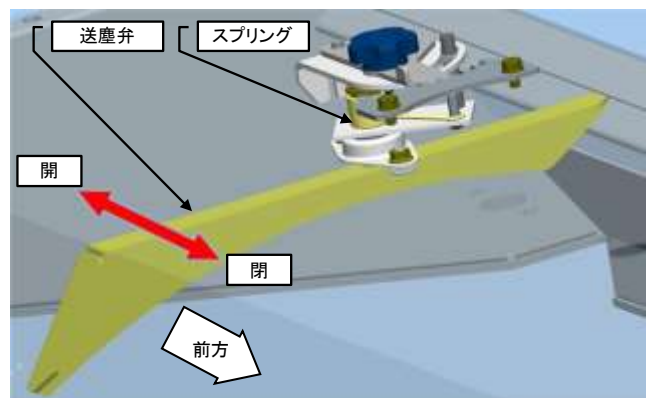



図６　送塵弁開度機構の概要

開発機における送塵弁開度制御機構の効果を確認するため、水稲収穫試験を行った。供試した水稲は、品種：彩のかがやき、籾水分：20.0%、わら水分：65.7%であり、送塵弁の初期開度を変え、制御した場合（制御有り）と制御しなかった場合（制御無し）の最高作業速度および脱穀選別損失を測定した。送塵弁の初期開度を開くに従って最高作業速度は速くなる傾向にあったが、脱穀選別損失が増

加する傾向にあった。脱穀選別損失を3%以下に抑えるためには送塵弁の初期開度を閉め側で使用する必要があった。その条件で、制御有りの最高作業速度は制御無しと比較して 20%程度高い傾向があった。

２）フッ化樹脂コートを施した揺動選別部

揺動選別部のグレンパンおよびフィンにフッ化樹脂コートを施すことによって、夾雑物等の付着が軽減される。自脱コンバインに適応した場合、湿材収穫時における排塵口損失が低減し選別性能が向上することが報告されている [5]。また、汎用コンバインに適応した場合、水稲収穫では自脱コンバインと同様の効果があり、大豆収穫では汚粒発生割合や汚染度が従来機と比較して低減することが報告されている [6]。フッ化樹脂コートを施した揺動選別部は、現在、市販汎用コンバインには装備されておらず、汎用コンバインでは開発機に初めて装備された。

開発機における大豆の汚粒低減効果を確認するため、ほ場試験（品種：ミヤギシロメ、子実水分：17.2%）を行った。従来の揺動選別部を使った場合の汚れ指数は0.8であったが、フッ化樹脂コートを施した揺動選別部では0.5に低減され、汚粒低減効果が改めて確認された。

３）狭ピッチ切断部

標準切断部は、刈刃刃先角 35°、受刃ピッチ 76.2mm であるが、狭ピッチ切断部は、刃先角 20°、受刃ピッチ 50.8mm であり、刃先角を小さく、受刃ピッチを狭くすることで、頭部損失発生要因の１つである切断時の茎稈の前方への飛び出しを抑制した（図７）。狭ピッチ切断部は切断による茎の前方への飛び出しを抑えるため、リールが作用し難い大豆主茎長が低い範囲で頭部損失の低減効果が高いことが報告されている [7]。

開発機における狭ピッチ切断部の頭部損失低減効果を確認するため、ほ場試験（品種:ユキホマレ、穀粒水分:18.9%）を行った。従来の切断部を使用した場合の頭部損失は3.0%であったが、狭ピッチ切断部では2.2%に低減され、頭部損失低減効果が確認された。

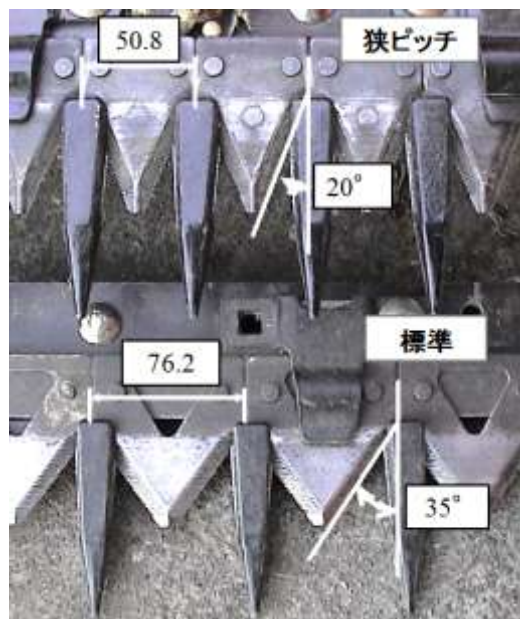



**図７　狭ピッチ切断部の構造**

## ４．小型汎用コンバインの作業性能

１）水稲

開発機の水稲の収穫性能を明らかにするため、水稲収穫試験およびモニター試験を行った（図８）。

水稲収穫試験の試験条件および結果を表２に示す。調査項目は、作業状況の確認、作業速度、脱穀選別損失、穀粒品質等とした。開発機は、刈り高さ15cm程度で収穫することができ、倒伏した水稲への適応性も良好であった。開発目標である脱穀選別損失 3%以下での最高作業速度は、脱粒性「中」では1.0m/s程度、脱粒性「難」では0.6〜0.8m/sであった。損傷粒割合および夾雑物割合は多くの品種

で基準以下であったが、同一品種でも発生に差が生じることがあり、作物の状態にあわせ適切な作業条件に調整する必要性が認められた。

モニター試験はＩ営農組合（岩手県遠野市）において実施し、３品種（いわてっこ、ひとめぼれ、あきたこまち）、収穫面積 5ha に供試した。導入当初、高い割合で脱ぷが発生したが、その後の改良により 5ha の面積を収穫することができた。オペレータから聞き取り調査した結果、「ほ場の形に影響されにくく刈取りは良好であった。軟弱ほ場でもほぼ自脱並の性能と思われる。」との感想を得た。ただし、「夾雑物割合が自脱型と比べると多く、減らして欲しい」等の要望もあった。

図８　水稲収穫作業状況

表２　水稲収穫試験の試験条件および結果

| 試験地 | | 沖縄県 | 宮崎県 | 新潟県 | 埼玉県（附属農場） | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 品種 | | ひとめぼれ | コシヒカリ | コシヒカリ | 朝の光 | 彩のかがやき |
| 脱粒性 | | 中 | 中 | 中 | 難 | 難 |
| 全長 | (cm) | 89.4 | 87.0 | 102.5 | 101.7 | 101.5 |
| 穀粒水分 | (%) | 30.4 | 27.8 | 24.1 | 22.8 | 20.0 |
| わら水分 | (%) | 70.6 | 72.9 | − | 67.8 | 65.7 |
| 作業速度 | (m/s) | 0.37～1.09 | 0.34～0.84 | 0.41～1.10 | 0.35～0.80 | 0.29～0.67 |
| わら流量 | (t/h) | 1.8～5.0 | 2.4～6.3 | 2.3～6.3 | 2.9～7.2 | 2.5～5.6 |
| 脱穀選別損失 1) | (%) | 少 | 少 | 中 | 中 | 中 |
| 損傷粒割合 2) | (%) | 無 | 中 | 少 | 多 | 少 |
| 夾雑物割合 2) | (%) | 中 | 多 | 少 | 少 | 中 |

注 1）穀粒損失の評価［無］：0%程度［少］：1%程度［中］：2%程度［多］：3%程度以上
注 2）損傷粒、夾雑物の評価［無］：0%程度［少］：0.3%程度［中］：0.6%程度［多］：1%程度以上

２）麦・大豆

開発機の麦および大豆の収穫性能を明らかにするため、麦および大豆の収穫試験を行った。また、大豆について、モニター試験を行った（図９、図 10）。麦および大豆収穫試験の試験条件および結果を表３に示す。調査項目は、作業状況の確認、作業速度、脱穀選別損失、頭部損失（大豆のみ）、穀粒品質等とした。

麦収穫において開発機は最高作業速度 1.4m/s で収穫可能であった。脱穀選別損失は、大麦および小麦では［無］であったが、裸麦では［少］であった。裸麦では、選別部等の最適な作業条件を検討することにより、さらに低減が図られると推察された。夾雑物割合は［無］～［少]、損傷粒割合は［無］であり、収穫物の品質は良好であった。収穫物の品質に対して、ほ場を提供していただいた農家（大麦）からも良好な評価を得た。

大豆収穫において開発機は最高作業速度 1.4m/s で収穫可能であった。頭部損失は［少］～［中]、

脱穀選別損失は［少］であり、穀粒損失は低く良好であった。夾雑物割合は［無］～［少］であり、良好であった。穀粒口で採取した穀粒の損傷粒割合は［少］であった。また、外観品質について、ほ場を提供していただいた地区（北海道）の検査員から「良好である」との判断を得た。モニター試験は水稲と同じＩ営農組合において実施し、１品種（ナンブシロメ）、収穫面積 16ha に供試した。大豆では大きな問題なく収穫することができた。ただし、視認性の改善等について要望があった。

図９　麦収穫作業状況

図 10　大豆収穫作業状況

表３　麦・大豆収穫試験の試験条件および結果

| 作物 | | 麦 | | | | 大豆 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 試験地 | | 島根県 | 愛媛県 | 埼玉県（附属農場） | | 北海道 | 福岡県 | 宮城県 |
| 品種 | | 大麦<br>あさか<br>ゴールド | 裸麦<br>マンネン<br>ボシ | 小麦<br>農林61<br>号 | 小麦<br>農林61<br>号 | ユキホ<br>マレ | フクユタ<br>カ | ミヤギシ<br>ロメ |
| 穀粒水分 | (%) | 21.947 | 22.78 | 21.686 | 19 | 18.936 | － | 17.21 |
| 茎・稈水分 | (%) | 47.659 | 17.89 | 25.396 | － | 47.029 | － | 18.657 |
| 莢水分 | (%) | － | － | － | － | 15.511 | － | 15.643 |
| 全長 | (cm) | 96.8 | 92.9 | 79.3 | 90.0 | 73.1 | － | 71.0 |
| 最下着莢高 | (cm) | － | － | － | － | 16.0 | － | 18.9 |
| 作業速度 | (m/s) | 0.48～<br>1.36 | 0.62～<br>1.47 | 0.54～<br>1.57 | 0.38～<br>1.44 | 0.28～<br>1.35 | 0.48～<br>1.41 | 0.41～<br>1.36 |
| 頭部損失 3) | (%) | ー | ー | ー | ー | 少 | ー | 中 |
| 脱穀選別損失 1) | (%) | 無 | 少 | 無 | 無 | 少 | 少 | 少 |
| 損傷粒 2) | (%) | 無 | 無 | ー | 無 | － | 少 | 少 |
| 夾雑物 2) | (%) | 少 | 少 | 無 | 無 | 少 | 無 | 無 |

注 1）麦の穀粒損失の評価［無］：0%程度［少］：1%程度［中］：2%程度［多］：3%程度以上

注 2）損傷粒、夾雑物の評価［無］：0%程度［少］：0.3%程度［中］：0.6%程度［多］：1%程度以上

注 3）大豆の穀粒損失の評価［無］：0%程度［少］：2%程度［中］：3%程度［多］：5%程度以上

３）ソバ・ナタネ

開発機のソバおよびナタネに対する収穫性能を明らかにするため、ソバおよびナタネの収穫試験を行った（図 11、図 12）。ソバおよびナタネ収穫試験の試験条件を表４に示す。調査項目は、作業状況の確認、作業速度、脱穀選別損失、頭部損失、穀粒品質等とし、大豆用コンバインと比較検討した。

表４　ソバ・ナタネ収穫試験条件

| 作物 | | ソバ | ナタネ |
|---|---|---|---|
| 品種 | | 常陸秋そば | キラリボシ |
| 試験地 | | 栃木県 | 茨城県 |
| 穀粒水分 | (%) | 52.4 | 11.5 |
| わら水分 | (%) | 84.4 | 78.7 |
| 全長 | (cm) | 93.5 | 123.8 |
| 立毛角 | (deg) | 84.0 | 85.0 |

ソバ収穫試験では、子実水分が 50%を超える高水分であったが、最高作業速度は 1.4m/s 程度であった。頭部損失は作業速度が速くなるに従って高くなる傾向があり、2%～8%であった。脱穀選別損失は 1%～7%であったが、夾雑物割合は 30%程度と高かった。

ナタネ収穫試験では、最高作業速度は 1.4m/s であった。頭部損失は 3%～7%であり、大豆用コンバインと同程度であった。脱穀選別損失は作業速度が速くなるに従って低くなり、1%～5%であった。

ソバおよびナタネについては大豆用コンバインと同等の作業精度であることが確認されたが、最適な作業条件、作物別対策部品等を検討することでさらに性能が向上すると推察された。

図 11　ソバ収穫作業状況

図 12　ナタネ収穫作業状況

## おわりに

開発機は、４条刈り自脱コンバイン程度の大きさで公道も自走可能であること、水稲収穫では脱穀選別損失を 3%以下に抑え作業速度 1m/s で作業可能なこと、メンテナンス性が高く清掃が容易であること等から研究課題を設定した際の開発目標を達成することができた。開発機は、平成 23 年度中に市販化される予定であり、今後、穀物生産費の低減に寄与することが期待される。

本研究の実施にあたり、飯豊沢田地区営農組合、岩手県農業研究センター、岩手県中央農業改良普及センター、中央農業総合研究センターの皆様には多大な協力を頂きました。厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

１）市川友彦ら：汎用コンバインの開発研究（第２報）－水稲収穫性能－，農機誌 58(4)，87-94，1996
２）市川友彦ら：大型汎用コンバイン，平成５年度研究報告会資料，1995

３）市川友彦ら:汎用コンバインの開発研究（第１報）－基礎試験とコンバインの試作－, 農機誌 58(3), 77-86, 1996
４）栗原英治ら：コンバインの湿材適応性拡大に関する研究（第２報）－送塵弁開度制御機構の検討－，農機誌 70(4)，90-97，2008
５）栗原英治ら：コンバインの湿材適応性拡大に関する研究（第１報）－揺動選別部はっ水方法の検討－，農機誌 70(4)，83-89，2008
６）栗原英治ら：コンバインの湿材適応性拡大に関する研究（第４報）－湿材適応技術の汎用コンバインへの適用－，農機誌 73(6)，397-406，2011
７）梅田直円ら：大豆収穫における頭部損失低減技術の開発（第４報）－切断部の試作と頭部損失低減効果の実証－, 農機誌, 70(1)，85-91，2008

# 果樹用農薬飛散制御型防除機の開発

## ー棚栽培用ドリフト低減型防除機の開発ー

園芸工学研究部　　太田智彦、大西正洋、宮崎昌宏
生産システム研究部吉田隆延、水上智道、山田祐一、宮原佳彦
共同研究実施企業　株式会社丸山製作所、ヤマホ工業株式会社

## はじめに

果樹園における薬剤散布は主にスピードスプレヤーにより行われている。送風を伴って機体側方や上方に薬液を散布しているので、薬液飛散（ドリフト）が懸念される。平成 18 年よりポジティブリスト制が施行され、より一層ドリフトに配慮する必要性が高まったため、農業機械等緊急開発事業で立木栽培果樹であるリンゴを対象として、立木用ドリフト低減型防除機および SS 用ドリフト低減ノズルを平成 22 年度までに開発した。

一方、ナシなどの棚栽培果樹の園地は住宅地が近い都市近郊が多く、ドリフトに加えて、薬液散布時のスピードスプレヤーの騒音がトラブルの要因となることもある。そこで、棚栽培果樹については平成 19 年度に騒音も低減できるスピードスプレヤーの開発に着手した。平成 21 年度までにノズル管支持装置の基本機構の開発を行い、平成 22 年度から埼玉県農林総合研究センター園芸研究所、茨城県農業総合センター園芸研究所、さいたま市内生産者の協力を得て、改良を繰り返しながら長期間の防除効果試験を実施した。ここでは開発した果樹用農薬飛散制御型防除機のうち、棚栽培用ドリフト低減型防除機の構造、性能について報告する。

## １．棚栽培用ドリフト低減型防除機の構造

### １）近接散布ノズル管

開発機は、折りたたみできる左右のノズル管に電動シリンダが取り付けてあり、運転席のスイッチで棚の高さや樹形に合わせ、折りたたみ角度を調整し、棚面に近接散布する（図１、表１、図２）。ノズル管全体を昇降できる昇降高さ調整部、ノズル管中間部で散布方向が変えられる角度調節部が備えてあり、園地に合った棚高さ、主枝の誘引角度などに合わせて、ノズル管全体の高さ、散布方向が調整できる。また、ノズル管先端が枝などに衝突したときにノズル管が安全に折れ曲がる衝突緩衝装置を備える。

図１　棚栽培用ドリフト低減型防除機

表１　開発機の主要諸元

| | |
|---|---|
| 全長×全幅×全高 | 2900x1225x1300 mm |
| 質量（乾燥） | 670 kg |
| エンジン出力、排気量 | 9 kW、719 cc |
| 薬液タンク容量 | 500 L |
| 噴霧ポンプ吐出量 | 42 L/min |
| 送風機風量 | 190 $m^3$/min |
| ノズル管 | |
| 　本数、長さ | 4 本（左右 350 mm） |
| 　ノズル取付ピッチ | 150 mm |
| 　折りたたみ方式 | 電動シリンダ回動方式 |
| 　回動角度 | 0～80° |
| 　昇降方式 | 手動 |
| 　昇降高さ | 地上高 1300～1400 mm（ノズル最高位置） |
| ノズル | 2種類切替式：<br>慣行コーンノズル（平均粒径 90μ m）、<br>専用ドリフト低減ノズル（平均粒径 100～200μ m） |

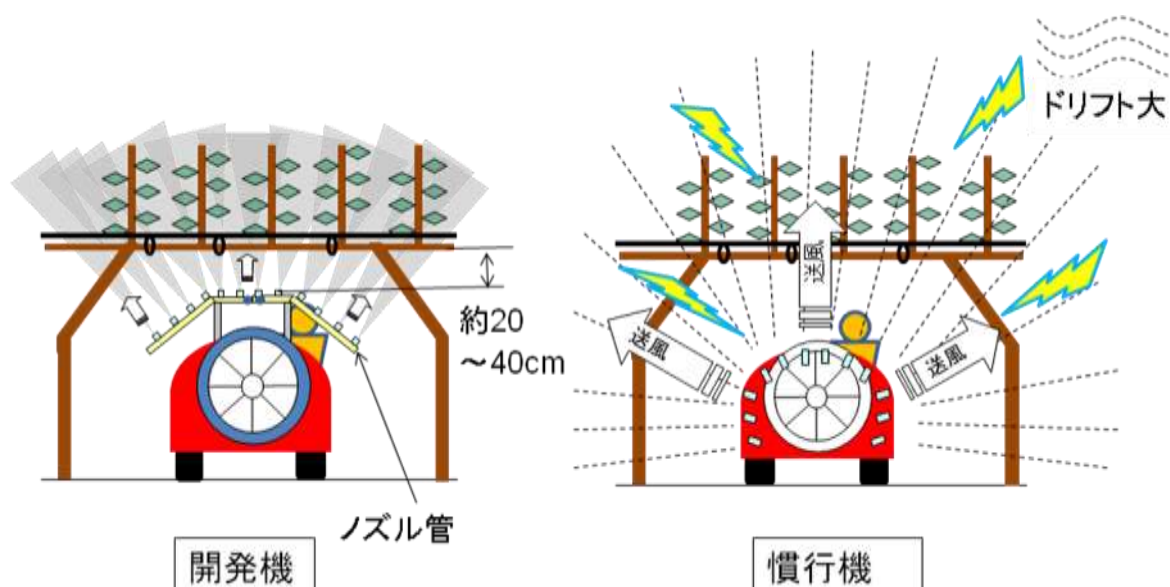



図２　開発機による散布

２）送風機

樹体に対して近づけて散布するので、従来のように大風量を必要とせず、開発機は散布時にエンジン回転数を慣行機の約 2500～3000rpm より低い、1800rpm に設定し、送風機の回転数を低くして散布することができる。慣行機で棚栽培の薬液付着に必要な送風量 290

～465m$^3$/min を開発機では送風量 190m$^3$/min に約 30～60%低減することにより、ドリフトを低減する。さらに、送風機回転数とエンジン回転数を低減することにより、省エネ運転で散布できる。

### ３）専用ドリフト低減ノズル

開発機には、ドリフトを大幅に低減するための専用ノズルが装着可能であり、慣行ノズルと切り替えて利用できる（図３）。開発した専用ノズルは２頭口であり、前方ノズルは慣行ノズルの約 2.5 倍の噴霧粒径 250μm で、ドリフトを抑制しつつ、新梢先端まで薬液を到達させる。後方ノズルは慣行ノズルの約 1.5 倍の噴霧粒径 150μm で、広角に噴霧し、棚面付近の葉が混んで、多い部分への付着性を確保する。

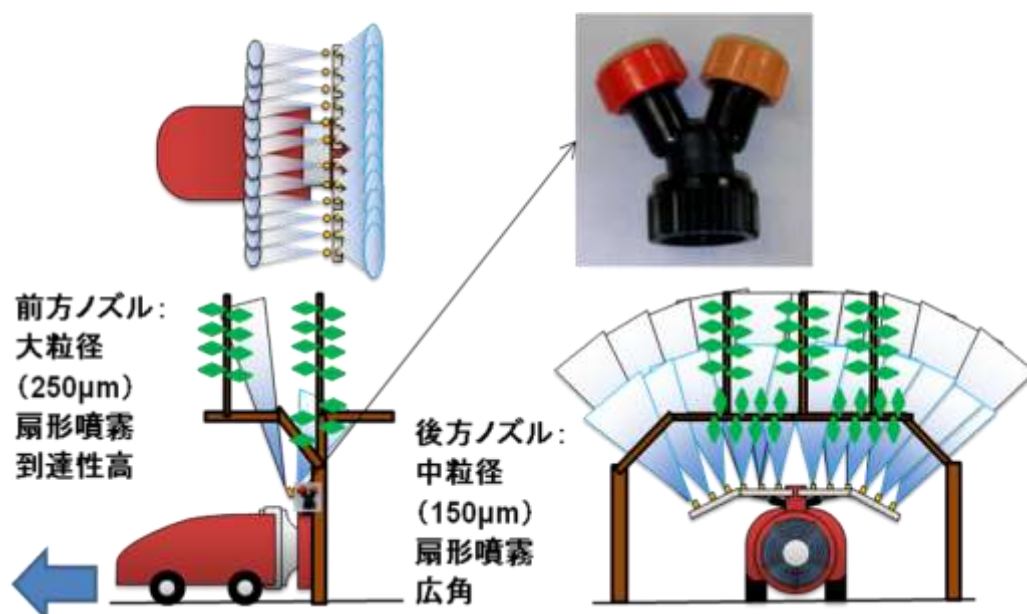



図３　開発した専用ノズルによる散布

## ２．開発機の性能

### １）ドリフト低減効果

開発機のドリフト低減効果を調べるために、茨城県農業総合センター園芸研究所（以下、茨城農総セ）でコマツナを園外に設置して最外樹列を 20m 往復散布し、ドリフトを測定した（図４）。さらに専用ノズルのドリフト低減効果を調べるために、埼玉県農林総合研究センター園芸研究所（以下、埼玉農総研）のナシ園で感水紙を園外に設置して最外樹列を 20m 往復散布し、ドリフトを測定した（図４）。ドリフト測定点は園外から 10～25m の距離に 5m 毎に設置した。供試機はそれぞれの試験地で散布している機種とした。

ナシ園で開発機および慣行機を供試し、殺ダニ剤（コロマイト）を散布量 250L/10a で散布して園外に設置したコマツナへのドリフト薬液量を測定した結果、開発機のドリフト薬液量は園端から 10m で 0.02ppm、15m 以上で検出限界値の 0.01ppm 未満で、慣行機では園端から 10、15m 地点でそれぞれ 0.11、0.03ppm となり、開発機の高いドリフト低減効果が認

められた(表２､表４)｡慣行ノズル装着の開発機の被覆面積率は10m地点で0.46％であり、25m地点で0.02％であり､専用ノズルを装着した開発機の被覆面積率は､10m地点で0.04％、25m地点で0.01％となり、専用ノズルを装着するとドリフトが大幅に低減できることが明らかになった（表３、表４）。

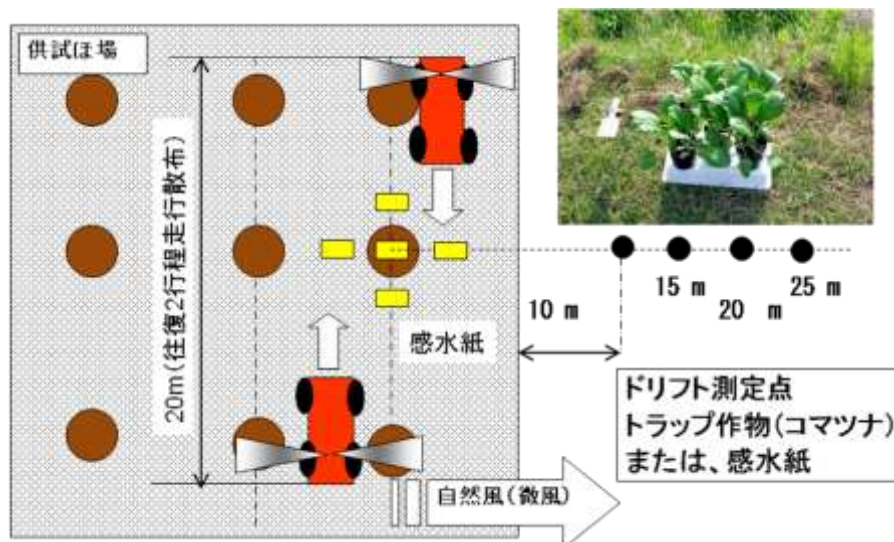



図４　ドリフト試験方法

表２　開発機のドリフト低減効果

| 園端からの距離(m) | 薬液ドリフト量(ppm) | |
|---|---|---|
| | 開発機(慣行ノズル) | 慣行機A |
| 10 | 0.02 | 0.11 |
| 15 | 0.01未満 | 0.03 |
| 20 | 0.01未満 | 0.01未満 |
| 25 | 0.01未満 | 0.01未満 |

注)検出限界は0.01ppm未満、試験地:茨城県農総セ、薬剤名:クレソキシムメチル水和剤(殺菌剤)、自然風風速:約1m/s以下、自然風風向は園外トラップ方向、散布量250L/10a、供試機:表4参照

表３　専用ノズルのドリフト低減効果

| 園端からの距離(m) | 感水紙液斑被覆面積率(%) | | |
|---|---|---|---|
| | 開発機 | | 慣行機B |
| | 専用ノズル | 慣行ノズル | |
| 10 | 0.04 | 0.46 | 0.73 |
| 15 | 0.02 | 0.11 | 0.19 |
| 20 | 0.02 | 0.04 | 0.12 |
| 25 | 0.01 | 0.02 | 0.13 |

注）試験地：埼玉農総研、自然風風速：1.5m/s以下、自然風風向：概ね園外トラップ方向、樹列間8m、樹間8m、品種‘豊水’、散布量：250L/10a、供試機：表4参照

表４　供試機

| 供試機 | 風量($m^3$/min) | エンジン回転数(rpm) | エンジン定格出力(kW) |
|---|---|---|---|
| 開発機 | 190 | 1800 | 9 |
| 慣行機A | 465 | 2800 | 17.5 |
| 慣行機B | 290 | 2800 | 25 |

２）付着性能

最外樹列の１樹冠内の棚面から 0.5、1.5m、樹冠内５カ所の位置に園内・園外側および上下面の付着を調査できるよう、合計 40 枚の感水紙を設置し、標準付着度指標に基づき、付着度指数（用語の解説参照）を求めた(図５)。付着性能はドリフト調査と同一試験条件

で、最外列を 20m 往復散布し、実施した。

茨城農総セでは、慣行機の付着度指数が約７であったのに対し、開発機では専用ノズルでも慣行ノズルでも約７となり、同程度であった。埼玉農総研でも、慣行機の付着度指数が約５であったのに対し、開発機では専用ノズルで約６、慣行ノズルで約７となり、同程度以上の結果であった（表５）。このように、付着性能試験の結果、ノズル種類（専用ノズル、慣行ノズル）、試験地（茨城農総セ、埼玉農総研）に関わらず、付着性能は慣行機と同程度であることを確認した。

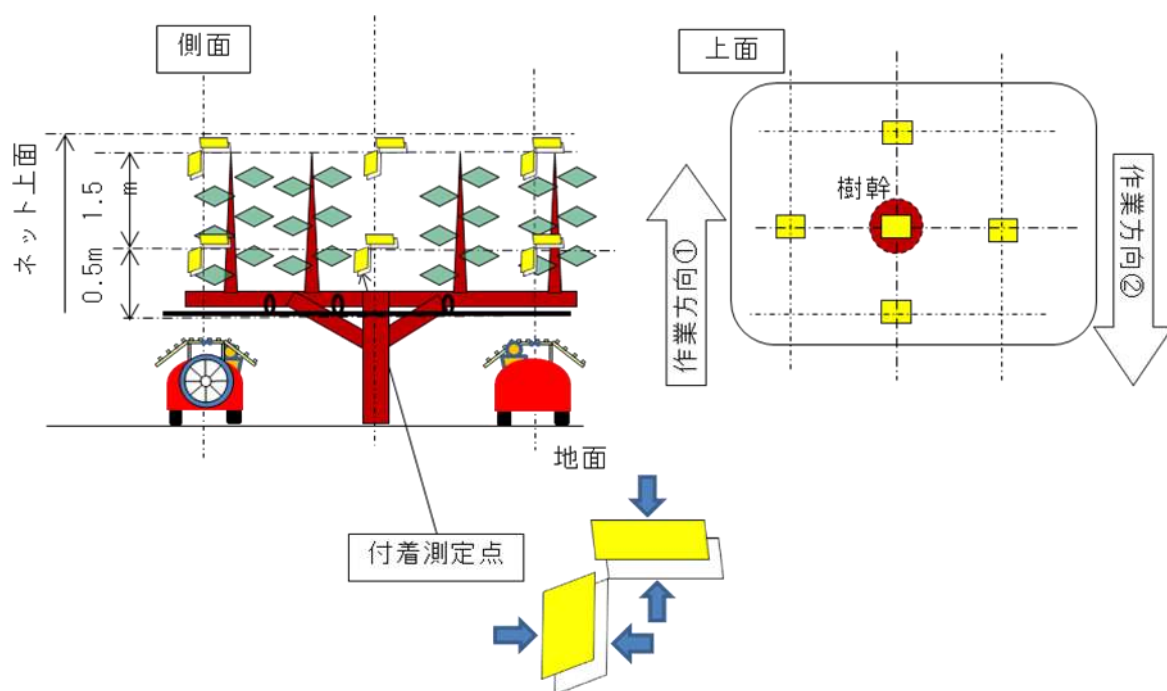



図５　付着性能試験における感水紙設置位置

表５　開発機の付着性能

(a)茨城農総セナシ園

| 棚面からの高さ(m) | 平均付着度指数(-) | | |
|---|---|---|---|
| | 開発機 | | 慣行機A |
| | 専用ノズル | 慣行ノズル | |
| 0.5 | 7.5 | 7.0 | 6.7 |
| 1.5 | 6.1 | 7.1 | 7.5 |
| 平均 | 6.8 | 7.1 | 7.1 |

注）樹列間3.6m、樹間3.6m、品種‘豊水’、
供試機：表4参照、散布量250L/10a

(b)埼玉農総研ナシ園

| 棚面からの高さ(m) | 平均付着度指数(-) | | |
|---|---|---|---|
| | 開発機 | | 慣行機B |
| | 専用ノズル | 慣行ノズル | |
| 0.5 | 5.1 | 6.0 | 5.0 |
| 1.5 | 5.9 | 7.5 | 5.0 |
| 平均 | 5.5 | 6.7 | 5.0 |

注）樹列間8m、樹間8m、品種‘豊水’、
供試機：表4参照、散布量250L/10a

３）騒音低減効果

生研センター内テストコースで、開発機、および、慣行機の四方 20m までの騒音を測定した。慣行機は、ドリフト低減効果試験、および、付着性能試験で供試した SS に加え、さらに１機種を加えた。慣行機３機種とも棚栽培防除で利用されている。試験の結果、散布

時の騒音が85dB以上の非常に高い部分の面積が慣行機では機体の周囲に約50～210m²であったのに対して、開発機では85dB以上の部分が無く、開発機の高い騒音低減効果が認められた（図６）。また、運転席耳元騒音は慣行機で89～92dBあったのに対して、開発機では83dBとなった（表６）。騒音レベル85dBは環境省による建設機械の環境騒音の規制値となっており、また、厚生労働省による騒音障害防止のためのガイドラインでは難聴を予防するために防音保護具の利用が望ましいとされている。したがって、開発機では環境騒音として周囲への影響も少なく、運転者の健康への影響も少ないといえる。

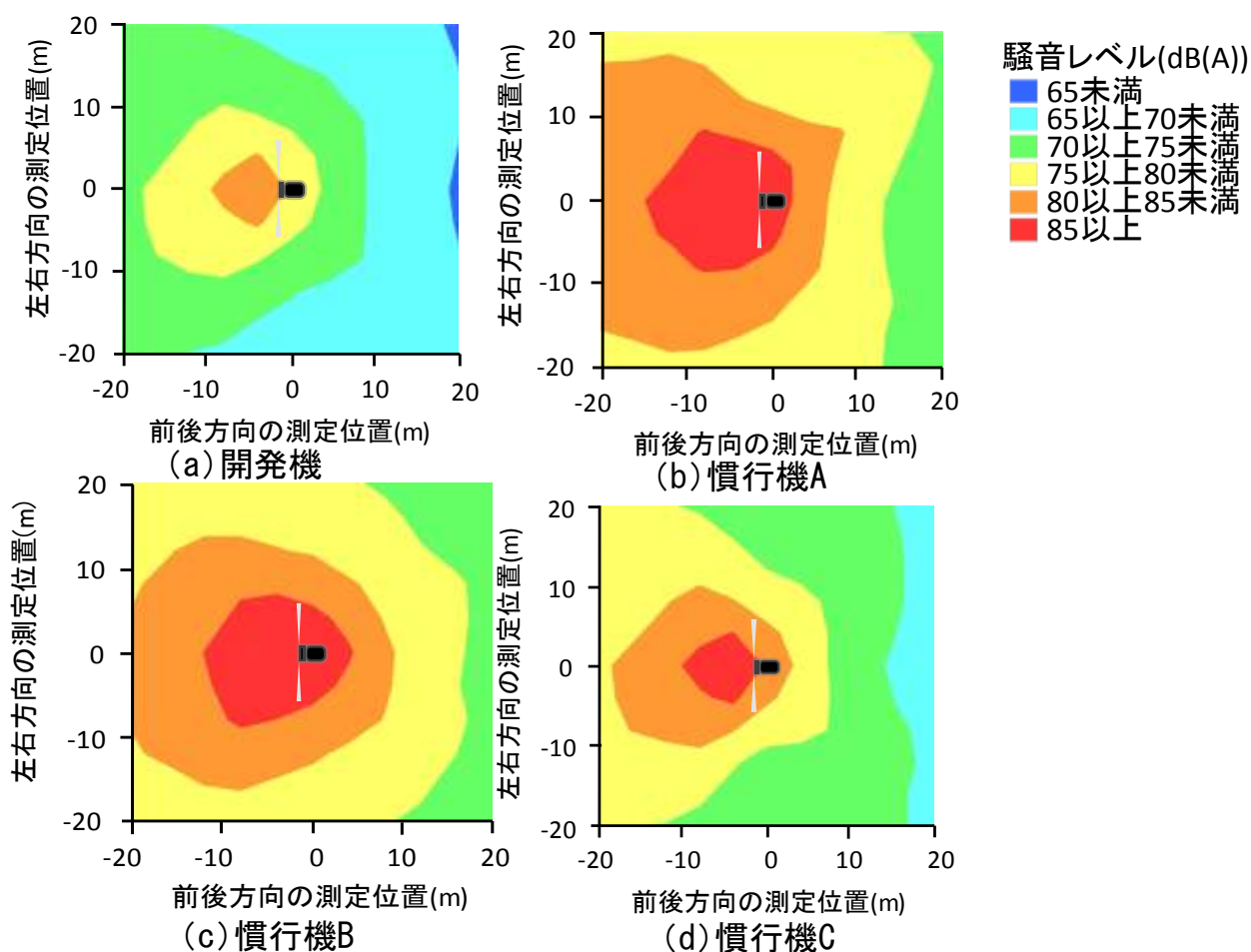



図６　散布時の騒音レベル（等騒音線図、供試機は表６参照）

表６　供試機および耳元騒音

| 供試機名 | 風量 (m³/min) | エンジン回転数 (rpm) | エンジン定格出力 (kW) | 運転者耳元騒音 (dB(A)) |
|---|---|---|---|---|
| 開発機 | 190 | 1800 | 9 | 83 |
| 慣行機A | 465 | 2800 | 17.5 | 92 |
| 慣行機B | 290 | 2800 | 25 | 92 |
| 慣行機C | 290 | 2300 | 9 | 89 |

４）省エネルギー性能

埼玉県内のナシ園で開発機と慣行機を供試して、10a 規模の防除実証試験を行ったときの単位面積当たり燃料消費量である燃料総消費量は慣行機の 0.46L/10a に対して、開発機では 0.35L/10a となり、面積当たり約 25%の燃料消費の節減が確認された（表７）。風量を低減して散布することによって燃料総消費量の低減が可能であり、省エネ効果を確認できた。

表７　燃料消費量

| | 散布能率 (min/10a) | 燃料総消費量（10a 当たり燃料消費量） (L/10a) |
|---|---|---|
| 開発機 | 9.3 | 0.35 |
| 慣行機 | 11.5 | 0.46 |

注）試験地：埼玉県内生産者ナシ園、燃料は両供試機とも軽油、散布量：150L/10a、散布面積：両機とも約 10a、燃料消費量・能率：防除効果試験散布 3 回の平均、慣行機：エンジン定格出力 18kW、風量 410m$^3$/min

## ３．開発機の防除効果

### １）ナシの防除効果

（１）茨城県農業総合センター園芸研究所での防除効果試験

茨城農総セ内ナシ園（品種‘幸水’、栽植距離 3.6m×3.6m、２本仕立て）で散布量を 250L/10a として、主要病虫害防除効果試験、および、通年の防除効果試験を行った。供試機は専用ノズル、および、慣行ノズルを装着した開発機、および、慣行機 A（表４、表６）とした。主要病害虫防除効果試験の結果の結果、黒星病（表８）、輪紋病、アブラムシ類、ハダニ類、シンクイムシ類、カメムシ類、ハマキムシ類、カイガラムシ類、ナシチビガ、全ての病虫害でノズル種類にかかわらず、開発機と慣行機の防除効果は同等であった。通年の防除効果試験の結果、開発機で防除した後の出荷可能収量、品質は慣行機で防除した後の出荷可能収量、品質と同等であり（表９）、長期間の棚下防除における取扱性にも問題なかった。

表８　ナシ果実における黒星病の発病程度

| 試験区 | 発病果率（%） | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4/25 | 5/11 | 5/25 | 6/9 | 6/24 | 7/11 | 7/26 | 8/10 | 8/24 |
| 開発機（専用ノズル） | 0.2 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.5 | 0 | 0 |
| 開発機（慣行ノズル） | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0 |
| 慣行機 A | 0 | 0.2 | 0 | 0.2 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.2 | 0 |
| 無防除 | 0 | 6.3 | 6.7 | 7.5 | 19.2 | 67.8 | 20.5 | ― | ― |

表９　通年防除効果試験後の出荷可能果実収量と品質（茨城農総セ）

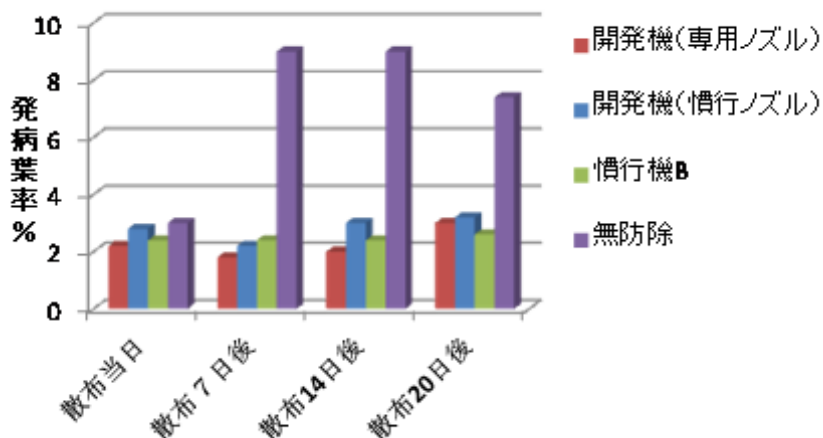
| 試験区 | 出荷可能果実収量 (kg/10a) | 果実糖度 (Brix　%) |
|---|---|---|
| 開発機（専用ノズル） | 3,063 | 11.6 |
| 開発機（慣行ノズル） | 3,010 | 11.8 |
| 慣行機 A | 2,791 | 11.7 |

（２）埼玉県農林総合研究センター園芸研究所での防除効果試験

埼玉農総研内ナシ園（品種‘豊水’、栽植距離 8m×8m、３本仕立て）で散布量を 250L/10a として、うどんこ病防除効果試験、および、通年の防除効果試験を行った。供試機は慣行ノズルを装着した開発機、および、慣行機 B とした。開発機と慣行機の防除試験区の発病葉率はともに散布 20 日後まで約２％と同等であり、同等の防除効果が得られた（図７）。通年の防除効果試験の結果、開発機では被害果率 0.24％、慣行機 B では 1.33％であり、同程度の被害果率であった（表 10）。長期間の棚下防除における取扱性にも問題なかった。

図７　うどんこ病に対する防除効果

表 10　通年防除効果試験後の被害果率

| 供試機 | 被害果率 (%) |
|---|---|
| 開発機 | 0.24 |
| 慣行機 B | 1.33 |

（３）埼玉県内生産者ほ場での防除効果試験

埼玉県内生産者ナシ園（品種‘幸水’および‘豊水’、栽植距離 8m×8m、３本仕立て）で散布量を 150L/10a として、７～９月の長期間防除効果試験を行った。供試機は慣行ノズルを装着した開発機、および、生産者が通常利用している慣行機とした。

試験の結果、出荷可能収量は開発機、慣行機ともに両品種で同程度であり、長期間の棚下防除における取扱性にも

表 11　長期間防除効果試験後の被害果率

| 品種 | 出荷可能収量(kg/10a) 開発機 | 慣行機 |
|---|---|---|
| 幸水 | 1540 | 1408 |
| 豊水 | 2480 | 2442 |

慣行機：エンジン定格出力 18kW、風量 410m$^3$/min

問題なかった（表 11)。

### ２）ブドウの防除効果

（１）茨城県農業総合センター園芸研究所での防除効果試験

茨城農総セ内ブドウ園（品種‘巨峰’、長梢せん定）で散布量を 250L/10a とし、主要病害であるべと病と褐斑病の防除効果試験を行った。供試機は慣行ノズルを装着した開発機、および、慣行機 A（表６）とした。ブドウ葉におけるべと病および褐斑病の発病葉率は開発機と慣行機に差はなく、防除効果は同等と考えられた（表 12)。

表 12　ブドウ葉におけるべと病および褐斑病の防除効果

(a) べと病の防除効果

| 試験区 | べと病の発病葉率(%) | | |
|---|---|---|---|
| | 7/11 | 7/25 | 8/11 |
| 開発機 | 1.0 | 0.9 | 1.5 |
| 慣行機 A | 3.8 | 3.0 | 3.0 |
| 無防除 | 0 | 0 | 22.0 |

(b) 褐斑病の防除効果

| 試験区 | 褐斑病の発病葉率(%) | | |
|---|---|---|---|
| | 7/11 | 7/25 | 8/11 |
| 開発機 | 0 | 0 | 0 |
| 慣行機 A | 0 | 0 | 0 |
| 無防除 | 29.0 | 32.0 | 60.0 |

（２）埼玉県内生産者ほ場での防除効果試験

埼玉県内生産者ブドウ園（品種‘巨峰’）で散布量を 150L/10a として、７～９月の長期間防除効果試験を行った。供試機は慣行ノズルを装着した開発機、および、生産者が通常利用している慣行機とした。今年度は同一整枝誘引方法、同一品種で栽培していなかったため、昨年度の出荷可能収量と比較すると、慣行機で散布したときと同等の出荷可能収量が得られた（表 13)。また、長期間のブドウ園の棚下防除における取扱性にも問題なかった。

表 13　長期間防除効果
試験後の出荷可能収量

| 収穫年 | 出荷可能収量(房/10a) | |
|---|---|---|
| | 慣行機 | 開発機 |
| 2010 年 | 701 | ー |
| 2011 年 | ー | 692 |

慣行機:エンジン定格出力 18kW、風量 410m$^3$/min

### おわりに

本研究では、棚面に近づけて散布できるノズル管支持装置により、小風量でも均一散布ができ、防除効果を落とすことなく、ドリフトを大幅に減らし、かつ、低騒音化が可能な棚栽培用ドリフト低減型防除機を開発した。平成 23 年 10 月 27 日に埼玉県農林総合研究センター園芸研究所で現地検討会を実施し、今後も開発機を積極的に紹介する等、普及促進のための活動を続けていきたい。また開発機は、平成 24 年度市販化予定で、安心・安全な果実生産に貢献していきたい。開発機に適応可能な棚形状は棚面最低位置 1.3m 以上、樹高（ネット高さ）4m 以下であり、樹列間 3.6～8m の棚栽培果樹に近接散布方法で適用可能である。な

お、ノズル管を最低位置にして折りたたみ角度を最小にすると慣行機とほぼ同じノズル位置となり、慣行機のように散布することも可能である。

棚栽培用ドリフト低減型防除機の開発に当たって、埼玉県内ナシ・ブドウ生産者の町田英雄氏、茨城県農業総合センター園芸研究所、埼玉県農林総合研究センターの多大なご協力を頂いた。ここで記して厚く謝意を表する。

## 参考文献

１）水上智道・吉田隆延・宮原佳彦・猪之奥康治・太田智彦・山田祐一・安食惠治・牧野英二・臼井善彦・丸山製作所・ヤマホ工業(2009)スピードスプレヤー用ドリフト低減ノズルの開発、生研センター研究報告会資料、34-43

２）太田智彦・山田祐一・猪之奥康治・吉田隆延・水上智道・宮原佳彦・臼井善彦・金光幹雄・安食惠治・丸山製作所・ヤマホ工業(2010)果樹用農薬飛散制御型防除機の開発、生研センター研究報告会資料、38-45

３）生研センター（2006～2011）平成 18～23 年度生研センター事業報告

## 用語の解説

### 棚栽培

針金などで棚を作り、そこにナシやブドウなどの枝、つるを誘引する栽培方法である。慣行では、水平に誘引した棚面の枝から上に伸長する新梢先端に、放射状に配置したノズルから噴霧する薬液を到達させるため、大きな送風量が必要であった。

### ドリフト

散布対象とするほ場以外への薬液の飛散である。平成 18 年から食品衛生法が改正され、農薬が残留しても良い基準値が設定されていない作物に、一律基準 0.01ppm が設定され、農薬が基準値以上含まれる食品の流通を原則禁止する制度（ポジティブリスト制）が導入された。果樹園での SS を利用した防除は、大風量を伴って薬液を散布するので果樹園以外の水田や畑への薬液の飛散が懸念されている。また、作付けしていない場所への飛散もドリフトと言う。

### dB

騒音や振動の大きさを表す単位でデシベルと読む。100dB が電車通過時のガード下、90dB が騒々しい工場内、80dB が地下鉄車内、70dB がバス車内の騒音レベルと言われている。

### 付着度指数

防除機の付着性能を評価するために、表面が黄色で、水滴が付着すると付着した部分だけが青色に変色する感水紙が用いらる。感水紙全体に対する液滴により変色した面積に応じて、

0～10 までの付着度指数が、標準付着度指標（生研センター作成）で設定されている。付着度指数 0 は液滴による変色がなく、付着度指数 10 は液中に完全に浸された状態を表し、指数が大きいほど付着性能が高いことを表す。

# 除染作業におけるはつ土板プラウ耕の耕深と

# 表層土埋没深さとの関係


| | |
|---|---|
| 企画部 | 後藤隆志、落合良治、小林　研 |
| 生産システム研究部 | 重松健太、吉野知佳 |
| 評価試験部 | 松尾陽介、手島　司、清水一史、西川　純 |
| 協力会社 | スガノ農機株式会社 |

## はじめに

東京電力福島第１原子力発電所の事故に伴う放射性物質による農地の汚染が大きな問題となっている。主な汚染物質である放射性セシウムは、耕うんを行わない限り、長期間ほ場表層に留まることが知られており、農林水産省では、(1)作土中の放射性セシウム濃度が１万ベクレル/乾土 kg を越える農地では、表土削り取りを実施、(2)同濃度が５千から１万ベクレル/乾土 kg の農地では、表土削り取り、反転耕等を選択して実施、(3)同濃度が５千ベクレル/乾土 kg 以下の農地では、必要に応じ反転耕等を行い、農作物への放射性セシウムの移行低減対策を実施するという考え方を打ち出している [1)]。ほ場表層の土壌を削り取って除去する方法では、大量の土を移動しなければならず、除去した土の処理の問題もある。一方、反転耕ではこれらの問題はないものの、汚染された表層土の埋没深さが浅いと除染効果が低下する。

そこで、除染作業時のプラウ耕時とその後の整地作業時、２作目以降における耕うん時の耕深設定の参考にするため、農林水産省の依頼を受けてはつ土板プラウ耕の表層土埋没試験を行い、プラウ耕の耕深と表層土埋没深さとの関係を明らかにしたので報告する。

## １．表層土埋没試験

### １）供試機

(1) 供試プラウ

14 インチ３連の市販はつ土板プラウと 22 インチ２連の市販機を１連に改造したはつ土板プラウ（図１、表１）を供試して試験を行った。22 インチプラウでは、ほ場表面残さの埋没を促進させるためのジョインタを取付けた場合と取付けなかった場合について試験した。ジョインタはその刃先がプラウの刃先と同じ横方向位置となるように取付け、耕幅は約 22cm、耕深は 8～10cm であった。

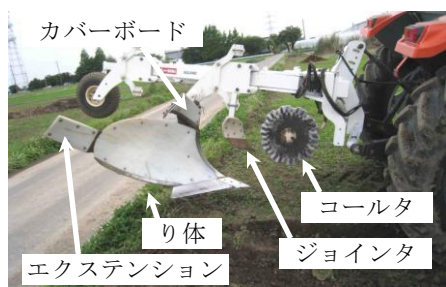
a）14 インチ３連プラウ

b）22 インチ１連プラウ

図１　供試はつ土板プラウ

表１　供試プラウの主要諸元

| 型　式 | スガノ CRLA143 | 1) |
|---|---|---|
| り体サイズ | 14 インチ | 22 インチ |
| り体の数 | 3 | 1 |
| 標準耕幅 (cm) | 107 | 51 |
| 標準耕深 (cm) | 16～27 | 30～45 |
| 全長×全幅 (cm) | 267×177 | 254×161 |
| 全高 (cm) | 157 | 135 |
| 機体質量 (kg) | 831 | 643 |
| 耕起角 (°) | 20.0 | 21.1 |
| 切断角 (°) | 40.0 | 43.2 |
| はつ土角 (°) | 40.5 | 45.3 |
| はつ土板材質 | 樹脂 | 樹脂 |
| 標準作業速度 (km/h) | 5.0～8.0 | 5.0～8.0 |
| 適応トラクタ (kW) | 37～52 | 44～67 |

1) スガノ CQY212CH（22 インチ２連）の改造機

(2) 供試トラクタ

黒ボク土ほ場では、14 インチプラウ用に機関呼称出力 44kW の４輪駆動トラクタを、22 インチプラウ用に機関呼称出力 62.5kW の４輪駆動トラクタを、灰色低地土ほ場では機関呼称出力 70kW の４輪駆動トラクタを供試した。

## ２）試験方法

(1) 供試ほ場

約１カ月半前に牧草（クリムゾンクローバ、ヘアリーベッチ）を収穫した後、約１カ月前にプラウ耕（耕深約 20cm）を、その後にディスクハローでの整地、ケンブリッジローラでの鎮圧を行った生研センター（埼玉県さいたま市）内の黒ボク土普通畑、約４カ月前に大麦をすき込んだ後、約３カ月前と約１カ月前にプラソイラ耕（耕深約 40cm）を行いロータリで整地した生研センター附属農場（埼玉県鴻巣市）内の灰色低地土普通畑の２箇所（表２）で試験を行った。

**表２　供試ほ場の土壌条件**

| 場　　所 | さいたま市普通畑 | 鴻巣市普通畑 |
|---|---|---|
| 土　壌　群 | 黒ボク土 | 灰色低地土 |
| 作土の土性 | 壌土 | 埴壌土 |
| 含水比[1) ](%) | 76～108 | 35～40 |
| 液性指数[1)] | 0.26～1.79 | -0.16～0.17 |
| 固相率[1) ](%) | 21～26 | 35～44 |
| 水分率[1) ](%) | 50～60 | 32～45 |
| 空気率[1) ](%) | 18～25 | 12～33 |
| 湿潤密度[1) ](g/$cm^3$) | 1.16～1.25 | 1.24～1.57 |
| 粘着力[1) ](kPa) | 6.4～7.2 | 10.8～13.7 |
| 内部摩擦角[1)](%) | 18～19 | 21～32 |

1) 深さ 0～5、10～15、20～25、30～35、40～45cm の値の範囲

(2) 試験区

試験区は、以下の５区とした。

① 目標耕深 20cm・ジョインタなし（14 インチプラウ）

② 目標耕深 30cm・ジョインタあり（22 インチプラウ）（黒ボク土ほ場のみ）

③ 目標耕深 30cm・ジョインタなし（22 インチプラウ）

④ 目標耕深 45cm・ジョインタあり（22 インチプラウ）

⑤ 目標耕深 45cm・ジョインタなし（22 インチプラウ）

(3) 試験方法

試験前に２～４行程の調整運転を行い、目標作業速度（6.5km/h）と目標耕深の設定を行った後、行程を変えて 50m 程度の作業を行い、作業速度を測定した。作業後には、耕深・耕幅、地表面の高さ、地表から深さ約３cm までの表層土（以下「表層土」とする。）の埋没深さを測定した。

**図２　埋没測定用土の埋設状態**

作業前に、耕起位置の地表にほ場の土と

異なる色の土を、厚さ約３cm（プラウ耕前に耕うんを行っていない状態を想定）、幅方向に耕幅＋20cm 程度、長さ方向に約１ｍで３箇所埋設（図２）して鎮圧した。作業後に、耕起した土を掘出して断面を露出させ、角パイプを水平に設置し、角パイプから埋没した表層土の上面と下面までの垂直距離を横方向に２cm 間隔、縦方向に 0.5cm 間隔で測定して、表層土の埋没深さを算出した。また、耕起後の土壌表面も同様にして測定した。

**３）試験結果**

(1) 作業状況

両ほ場とも、円滑に作業することができた（図３）。黒ボク土ほ場において表層土の埋没測定に使用した石灰混合土は、比較的乾燥していたため、作業時にごくわずかの飛散が観察されたが、大部分は土中に埋没されたものと推定された。灰色低地土で使用した赤土は、湿った状態であったことから作業時の飛散はほとんどなかった。

ａ）黒ボク土普通畑での作業

ｂ）灰色低地土普通畑での作業

**図３　作業状況**

(2) 作業速度と耕深・耕幅

黒ボク土ほ場における目標耕深 20cm 区では、供試トラクタが小さかったことから作業速度が 4.2km/h と目標値の 65%程度にとどまったが、その他の試験区の作業速度は 5.9～7.0km/h であり、目標値の 83～108%であった。

目標耕深に対する平均耕深の割合は、目標耕深 20cm 区で 108～110%、同 30cm 区で 90～97%、同 45cm 区で 94～101%であった。標準耕幅に対する平均耕幅の割合は、目標耕深 20cm 区で 103～111%、同 30cm 区で 107～115%、同 45cm 区で 85～97%であった。

(3) 作業後のほ場断面

作業後の断面を見ると、プラウのり体が通過した跡に、１り体当たりの耕幅に相当するれき溝ができ、その右側方に耕起土が放てきされて徐々に高さを増しながら堆積された。れき溝壁からの距離が、１り体当たりの耕幅の３倍程度となる位置で耕起土の堆積高さがほぼ一定となった（図４）。耕起直後の耕起土深さは平均して、耕深に比べ、黒ボク土ほ場で約 1.5 倍、灰色低地土ほ場で約 1.4 倍となった（図４）。

(4) 耕起直後の表層土埋没深さ

表層土は、れき溝壁から１り体当たりの耕幅の２倍程度側方付近に、前に通過したり体で

反転された既耕起土の斜面に載る形で、３～10cm 程度の厚さですき込まれていた（図４）。

**図４　プラウ耕後のほ場断面例**

地表面（3 箇所の平均）
表層土の埋没上面位置（1 箇所の例）
表層土の埋没下面位置（1 箇所の例）

目標耕深20cm　3り体中２り体分を測定　ジョインタなし
目標耕深30cm　ジョインタなし
目標耕深45cm　ジョインタなし
目標耕深45cm　ジョインタあり

深さ（cm）
れき溝壁からの横方向距離（cm）

**図５　黒ボク土ほ場における作業後の断面**

地表面（3 箇所の平均）
表層土の埋没上面位置（1 箇所の例）
表層土の埋没下面位置（1 箇所の例）

目標耕深20cm　3り体中２り体分を測定　ジョインタなし
目標耕深30cm　ジョインタなし
目標耕深45cm　ジョインタなし
目標耕深45cm　ジョインタあり

深さ（cm）
れき溝壁からの横方向距離（cm）

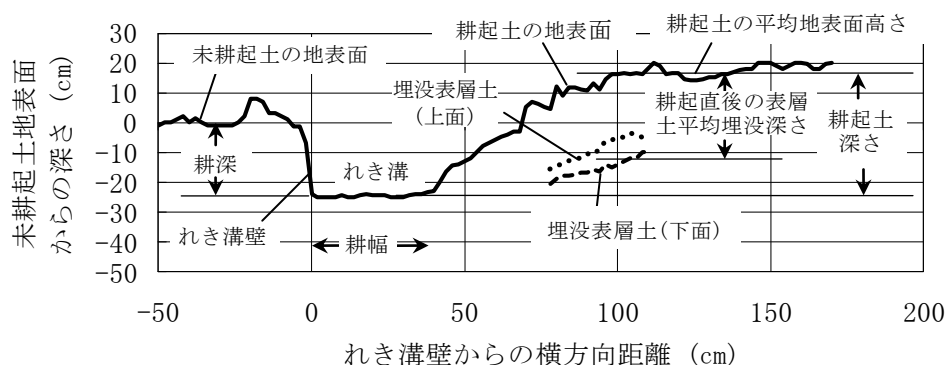
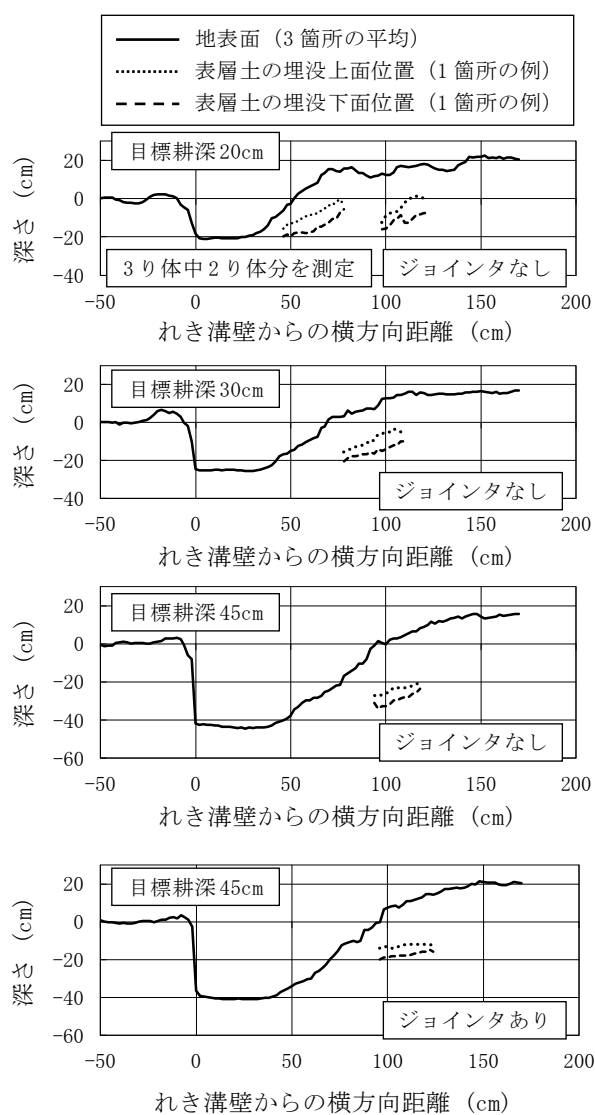
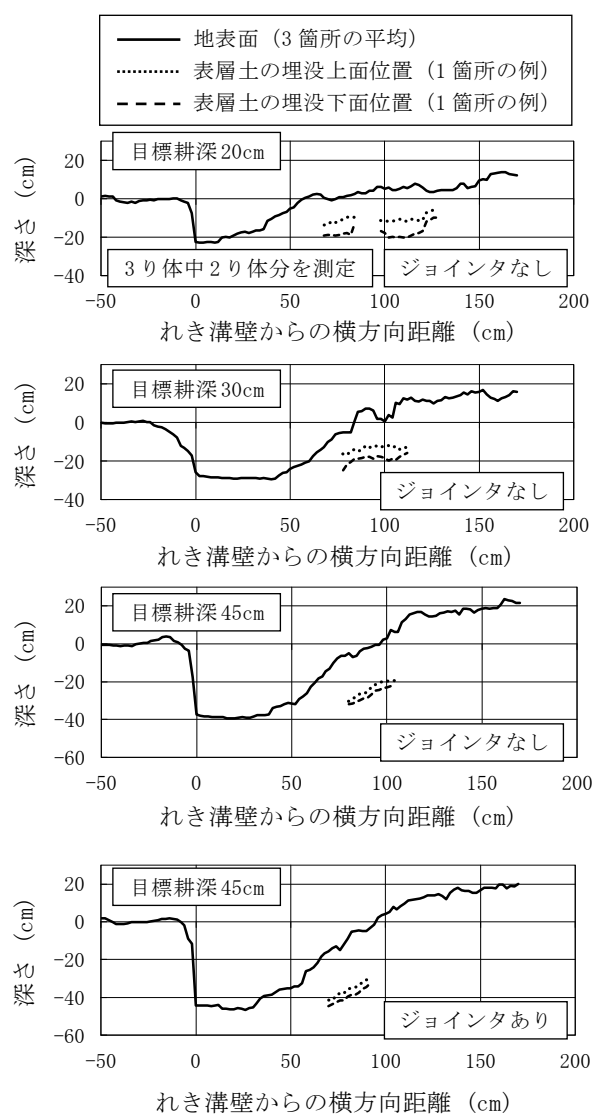



**図６　灰色低地土ほ場における作業後の断面**

表層土の埋没深さは、耕深にほぼ比例して深くなった（図７）。耕起直後の表層土平均埋没深さは、黒ボク土ほ場では耕深の約 94%、灰色低地土ほ場では耕深の約 99%、両ほ場の平均で耕深の約 96%であり、耕深 20cm 時で 19cm 程度、耕深 30cm 時で 29cm 程度、耕深 40cm 時で 39cm 程度、耕深 45cm 時で 44cm 程度であった（図７）。耕起直後において表層土の９割が埋没される深さ（10 パーセンタイル値）は、耕深 20cm 時で 14cm 程度、耕深 30cm 時で 23cm 程度、耕深 40cm 時で 32cm 程度、耕深 45cm 時で 37cm 程度であった。また、耕起直後における表層土の最小埋没深さは、耕深 20cm で 8cm 程度、耕深 30cm で 18cm 程度、耕深 40cm で 28cm 程度、耕深 45cm で 33cm 程度であった。

(5) 耕起土沈下後の表層土埋没深さ

耕起後の土壌は、その後の整地作業と時間の経過により、作物が生育する頃には耕起前の地表面位置付近まで沈下するものと推定される。そこで、表層土の埋没位置も耕起後の地表面位置と同じ割合で沈下するものと仮定し、「耕起直後の表層土埋没深さ」に「耕起土深さに対する耕深の割合」を乗じ「耕起土沈下後の表層土推定埋没深さ」として算出した。

耕起土沈下後の表層土推定平均埋没深さは、黒ボク土ほ場では耕深の約 65%、灰色低地土ほ場では耕深の約 71%、両ほ場の平均で耕深の約 2/3 であり、耕深 20cm で 12cm 程度、耕深 30cm で 20cm 程度、耕深 40cm で 28cm 程度、耕深 45cm で 32cm 程度であった（図８）。耕起土沈下後において表層土の９割が埋没される深さは、耕深 20cm で 8cm 程度、耕深 30cm で 15cm 程度、耕深 40cm で 22cm 程度、耕深 45cm で 25cm 程度であった（図９）。また、耕起土沈下後における表

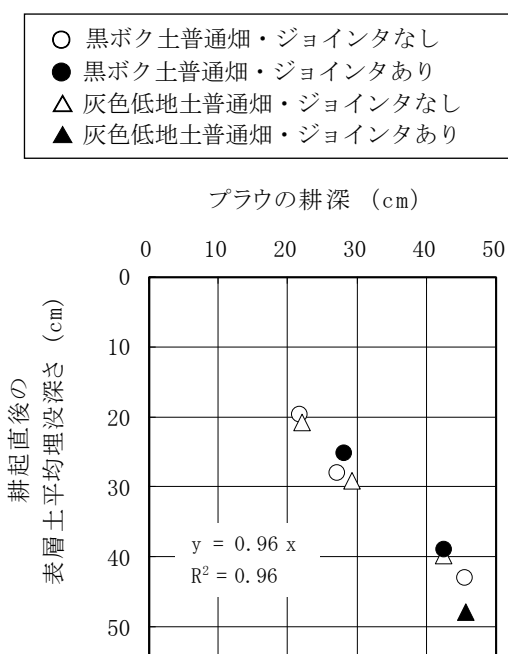



図７　耕深と耕起直後の表層土平均埋没深さとの関係

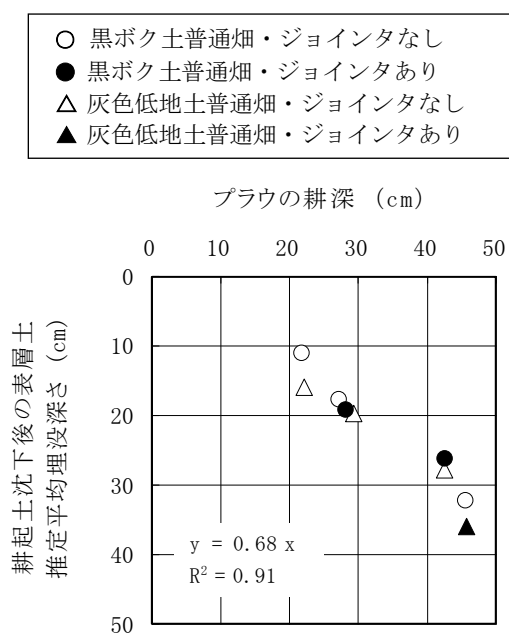



図８　耕深と耕起土沈下後の表層土推定平均埋没深さとの関係

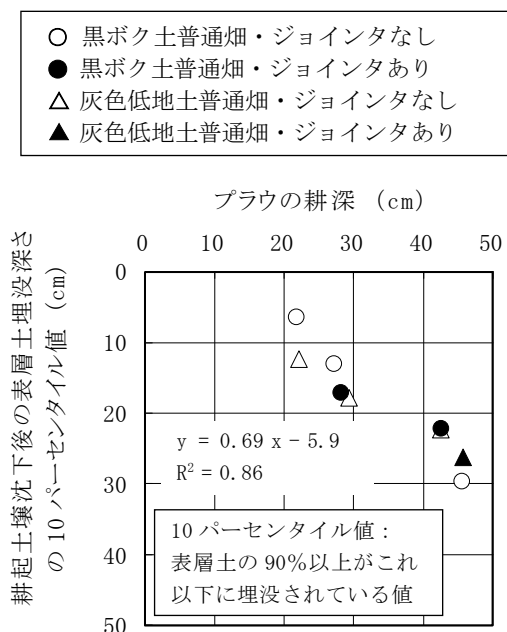



図９　耕深と耕起土沈下後の表層土推定埋没深さの 90 パーセンタイル値との関係

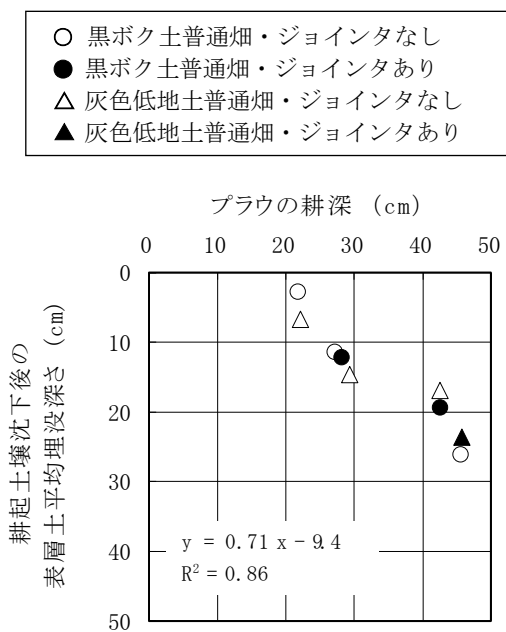



図 10　耕深と耕起土沈下後の表層土推定最小埋没深さとの関係

層土の推定最小埋没深さは、耕深 20cm で 5cm 程度、耕深 30cm で 12cm 程度、耕深 40cm で 19cm 程度、耕深 45cm で 23cm 程度であった（図 10）。

(6) 表層土埋没深さのほ場間差

ジョインタなし区同士で試験結果を比較すると、作業速度が異なった耕深 20cm 区を除き、耕深が同程度の場合の表層土埋没深さのほ場間差は小さかった。しかし、これは既耕起土斜面の土の崩れがない場合の結果であり、崩れがある時には表層土埋没深さが変わってくるものと思われる。

(7) ジョインタの効果

ほ場表面の残さを深く埋没させるためのアタッチメントであるジョインタを取付けた場合、埴壌土の灰色低地土のような比較的粘質なほ場では、表層土埋没深さが深くなる傾向があったが、壌土の黒ボク土のような比較的崩れやすく、ジョインタでの土の側方放てき距離が小さくなる傾向のあるほ場では効果が低かった。

## ２．プラウ耕による除染効果の例と作業時の留意点

### １）除染効果の例

本試験では放射線量の測定は行わなかったが、福島県で行われた別の試験では、耕深 30cm のプラウ耕で、作業前に 0.66μSv/h あったほ場の表面線量が 1/2 以下に低下したことが報告されている [1)]。また、チェルノブイリ原子力発電所の事故後における試験でも、地上 1m の放射線量を、耕深 25cm のプラウ耕で 1/3～1/6 に、耕深 25～35cm のプラウ耕で 1/2～1/4 に、耕深 45cm のプラウ

耕で 1/6～1/10 に低減できたとの報告がある[2)]。

また、作物等の種類や対照区などの詳細は不明であるが、チェルノブイリ事故後１年目のプラウ耕により、生産物中のセシウム 137 の濃度が 1/2.5～1/4 になったとの報告もある[3)]。

**２）作業時の留意点**

現在、農林水産省において「農地除染作業の手引き」が取りまとめられているところである。詳細は、この手引きを参照願いたいが、以下に機械作業を中心とした作業時の留意点について概要を記載する。

(1) プラウ耕前

プラウ耕による除染の対象となる農地は、主に作土中の放射性セシウム濃度が 5,000Bq/乾土 kg 以下のほ場であることから、事前に空間線量の測定を行い作土の放射性セシウム濃度を推定し（上記の手引きを参照のこと）、プラウ耕による除染の対象となるかどうかを調査する。また、プラウ耕を行うと下層土が表層に上がってくるので、下層土に問題がないかを調べる。大きな雑草が繁茂している場合は、被曝に注意して草刈りを行っておく。なお、プラウ耕の前にロータリ耕などを行うと、放射性物質の土中分布範囲が深くなり、プラウ耕後の同物質の埋没深さが浅くなるので、プラウ耕前の耕うんは行わないようにする。

(2) プラウ等の選定と調整

プラウ耕の耕深が深いほど除染の効果は高まるが、実際の作業においては、栽培する作物の活性根の深さ分布、水田と畑の別、下層土の礫含量や肥沃度、利用できるトラクタの大きさなどに応じて耕深を設定する必要がある。耕深の目安は、水田で 30cm、畑で 45cm であるが、対象ほ場の状況に応じて耕深を変更する。

プラウは、り体の大きさにより作業可能な耕深が異なる。わが国で販売されているプラウのり体は、12～24 インチ程度であるが、耕深 30cm の作業を行うには 16 インチ程度以上のプラウを、耕深 40cm 以上の作業を行うには 22 インチ程度以上のプラウを選定する必要がある。また、プラウはロータリに比べ調整が必要な箇所が多いので、取扱い説明書や教本[4)] に従い、各部の調整を行う。特に、エクステンション（図１）の位置が不適切だと耕起土の崩れが、コールタ（図１）の横方向位置が不適切だとれき溝壁の崩れが起き、表層土の埋没深さが浅くなることがあるので注意が必要である。

(3) プラウ耕時

作業時の土壌が乾燥しているとほこりが舞い上がり、放射性物質の漂流飛散や作業者の被曝につながる。そのため、乾燥した土壌条件でプラウ耕を行うことは避け、土を練り付けたりしない程度のやや湿った土壌条件の時に作業を行う。プラウ耕では、作業速度が異なると土の飛び方が変化し、反転性能が変わってくる。土壌条件やほ場の形状に合わせ、反転性能が最も良くなる作業速度を選択する。

(4) 整地作業時

プラウ耕後のロータリやバーチカルハロー等による整地では、プラウ耕により埋没させた放射性物質をかき上げて地表へ露出させないよう、耕深に留意する必要がある。本試験の結果、プラウ耕の耕深 30cm 時における表層土最小埋没深さは、耕起直後で 18cm 程度、耕起土沈下後で 12cm 程度 (図 10) であったことから、耕深 30cm でプラウ耕を行った時の整地作業の耕深は、安全を見て 12cm 程度以下に設定することが望ましい。また、プラウ耕後にほ場（特に水田）の均平が問題となる場合には、均平作業を行う。

(5) その後の作業時

除染のためにプラウ耕を行った後に再び深耕を行うと、埋没した放射性物質を露出させてしまうので、２作目以降の耕起作業では、埋没させた表層土を露出させない耕深（プラウ耕の耕深が 30cm であった時には 12cm 程度以下）で作業を行う。プラウ耕による深耕後に水稲栽培を行う場合は、漏水の少ない水田では、埋没した表層土を代かき時にトラクタ車輪でかき上げるのを防ぐため、無代かき栽培の検討を行う。無代かき水田に入水後４～７日で水がなくなるほ場では無代かき栽培が難しいので、代かきを丁寧に行って（特に、畦畔付近）漏水を防ぐ。代かき時の機械の走行に問題のある時は、クローラトラクタや補助車輪付きのトラクタを利用する。また、本暗きょが施工されているほ場では、プラウ耕により疎水材の上部が取り除かれるので、弾丸暗きょをプラウ耕の耕深より深めに入れ、暗きょの機能を維持する。

## おわりに

このたびの震災で被災された方々にお見舞い申し上げます。本試験では、現行はつ土板プラウの表層土埋没性能を調査したが、耕深が浅い場合の埋没性能をさらに向上させる必要性が見出された。現在、この問題を改善すべく検討を進めているところである。本試験の結果が、今後の除染作業の参考となれば幸いである。

## 参考文献

１）農林水産省農林水産技術会議（2011 年 9 月）: 農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）について, http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/110914.htm

２）Roed,J., Anderson,K.G., Prip,H. (1995)：Practical means for decontamination 9 years after nuclear accident, Risoe National Laboratory, Denmark, p46-51, http://130.226.56.153/rispubl/reports/ris-r-828.pdf

３）IAEA (2006)：Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation, p82, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239_web.pdf.

４）スガノ農機(株)：教本シリーズ１「ボトムプラウ」, p1-93, http://www.sugano-net.co.jp/products/plow/plow_text/plow_text.html

# 高能率石礫除去機の開発

園芸工学研究部　　市来秀之、八谷　満、Nguyen Van Nang
共同研究実施会社　東洋農機株式会社

## はじめに

北海道の農耕地で石礫を除去しなくてはならない土地は、約30,000haあるといわれる（帯畜大ら、1975)。農耕地の石礫は、作物の生育障害による収量の減少、変形いもの増加による品質低下、収穫時の掘り残しによる作業精度の低下や選別速度低下による作業能率の低下、並びに作業機の摩耗、破損の増加等の原因となり、営農上の大きな問題となっている。

そこで、平成19年度から農林水産省プロジェクト「担い手の育成に関するIT等を活用した新しい生産システムの開発－超低コスト土地利用型生物生産技術の開発」、「水田の潜在能力発揮等による農地の周年有効活用技術の開発」において、東洋農機株式会社と共同で高能率な石礫除去機の開発を行っている。平成20～21年度に駆動型ディスクを使用した土壌の掘り上げ技術の開発、平成22年度に石礫除去機の開発を行い、平成23年度に実証試験を行った。開発機は平成24年度中の市販化を予定している。

なお、本研究は農林水産省委託プロの「担い手の育成に資するIT等を活用した新しい生産システムの開発」、および「水田潜在能力発揮等による農地周年有効活用技術の開発」による研究費の補助を得た。ここに、記して謝意を表する。

## １．石礫除去作業

### １）石礫の区分と開発機の作業目標

石礫は表１に示すように、長径が30～50mmが小礫、50～100mmが中礫、100mm以上が大礫と区分され、特に問題のない30mm未満の石礫は土砂として取り扱う。

表１　石礫の区分

| 区　分 | 長　径(mm) |
|---|---|
| 小　礫 | 30 ～ 50 |
| 中　礫 | 50 ～ 100 |
| 大　礫 | 100 ～ |

（南部ら、1982）

石礫除去作業の作業深、および石礫割合について、北海道の除礫指針の運用では、適用基準を計画作土深内の平均含礫率５％以上（改良目標５％未満)、計画作土深25cmとしているが、大沼ら（2004）によれば、除礫対象の含礫率が２～３％でも、含礫率が１％未満に比較して農業機械の能率を著しく低下させ、作物生育に支障をきたしている。作業深はダイコンが30cm、他は25cmとしているが、輪作体系で種々の作物を作付けされる場合は、前作の作物残渣を完熟状態にするためには30cm程度の作土深が必要としている。

これらを参考に、開発機の作業目標は、作土深を標準25cm、最大30cm、石礫割合を１％未満とした。

### ２）石礫除去の効果

松田ら（1986）によると、除礫区のバレイショの収量は、礫含率が6.8％と多い未除礫区に比較して、総いもで約15％、生食用となる70g以上のいもで約65％向上し、品質は緑化いもで約45％、変形いもで約65％少ないなど向上し、製品歩留まりは約20ポイント高くなった。また、収穫作業においては掘り残しが少なく作業精度が向上し、収穫機に上がる礫量が減少し作業能率は約10％向上した報告がある。また、南部ら（1983）によると、石礫地での能率は一般畑地より2/3

～1/2に低いとある。バレイショ収穫機は、収穫物と一緒に土壌を取り込む構造で、概ね30mm未満の土砂は、収穫機上に搬送する過程でバーコンベアの隙間でふるい落とされるが、30mm以上の石礫・土塊は、収穫機上の選別部まで到達し、収穫物に多くの土塊や石礫が混入する。そのため、収穫機上に配置する複数の作業員が手作業で石礫・土塊を取り除く選別作業が必要である。選別する石礫・土塊が多い場合、選別速度に制約を受け、ハーベスタの作業速度を下げることとなり、性能を十分に発揮できず、結果的に多くの労力と時間を要している。さらに、畑輪作体系では、他の作物との作業競合に陥り、規模拡大に支障が生じている。

また、機械の故障、消耗への影響については、南部ら（1982、1983）によると、ディスクハローでは石礫がつかえ、ディスクが破損する、ロータリハローの爪が折損する、ばれいしょやてん菜のハーベスタの掘取り部やロッドコンベアに石礫を挟んで切れる等の事例があり、除礫により修理費用は1/3～1/6に減少するとある。

以上のように、石礫の多いほ場の石礫を除去により、作物の収量、品質を上げ、機械の作業精度、能率を向上させるとともに、故障、摩耗の発生を下げることは低コスト化、軽労化、経営規模拡大に大きく貢献する。

### ３）除礫工法

除礫工法には、土塊を掘取り、振動やふるいにより石礫を土壌から分離する排除集積工法、石礫を物理的手段で細かく破砕するクラッシング（細粒化）工法の他、排除埋込工法、湛水埋込工法があるが、畑地では前者２工法が適用されている。排除集積工法は、石礫が比較的多く、排除された石礫の集積場の確保が容易な地域に適用され、クラッシング工法は石礫が比較的少なく、施工により望ましい土壌条件となり、かつ粉砕された石礫が営農の支障とならない場合に適用されている。

ここでは、石礫地域の除礫を想定し、排除集積工法を取り上げた。

### ４）既存の石礫除去機

排除集積工法の国内の既存の主な石礫除去機として、I社製SST-1400（図１）、A社製SPGSD-1の２機種がある（表２）。SST-1400はトラクタけん引型で、掘取部はショベル型、選別部はロッドコンベアとトロンメル（回転ふるい）の２段選別で、採取した石礫はタンクに受け、リアダンプ式で後方に排出する。SPGSD-1は、トラクタけん引型で、掘取部はショベル型、選別部は２段ロッドコンベアで、採取した石礫はタンクに受け、サイドダンプ方式で側方に排出する。

図１　既存の石礫除去機（I 社製 SST-1400）

表２　既存の石礫除去機の主要諸元

| 型式 | SST-1400 | SPGSD-1 |
|---|---|---|
| 機体 | | |
| 　全長×全幅×全高 | 6.95m×2.16m×2.60m | 5.35m×2.27m×2.45m |
| 　重量 | 3,500kg | 1,900kg |
| 　作業幅 | 1.40m | 1.15m |
| 　適応トラクタ | 74kW(100PS)級以上、4駆 | 59kW（80PS）級以上、４駆 |
| 　駆動方式 | 機械式 | 機械式 |
| 掘取部 | | |
| 　形状 | ショベル型（直刃） | ショベル型（山形） |
| 　適正作業深 | 250mm | 200mm |
| 　最大作業深 | 400mm | 400mm |
| 選別部 | ①ロッドコンベア型２列<br>　ロッド間隔：29mm<br>②トロンメル型<br>　メッシュ間隔：前30mm、後25mm | ロッドコンベア２段<br>ロッド間隔：25mm |
| 排出部 | | |
| 　方法 | 油圧ダンプ、後方排出 | 油圧ダンプ、側方排出 |
| 　排出高 | 2.00m | 2.10m |
| 　石礫タンク容量 | 1.77m³ | 1.17m³ |

（北海道立中央・十勝・根釧農業試験場、1988）

1988年に北海道立中央・十勝・根釧農業試験場が行った性能試験によると、SST-1400の除礫割合は85％で、30～50mmの除去率は72％とやや悪く、SPGSD-1の除礫割合は95％と良好であったが、30～50mmの除去率は90％とやや悪かったとある。また、農家への既存の石礫除去機に関する聞き取り調査では、既存機は作業速度が遅くて作業能率が低く、トロンメル式は前作の残渣があるほ場では目詰まりが発生し、繁忙期には困っている。価格が高いので、低価格な石礫除去機の開発を望むとの意見があり、作業能率が高く、安価な石礫除去機の開発に着手した。

## ２．開発機の概要

開発機の仕様諸元を表３に、概要を図２に示す。開発機は、土塊を掘取り、砕土し、石礫を分離して回収する石礫除去機で、トラクタけん引式、標準作業深25cm、最大有効作業幅1.87mである。機体の大きさは全長5.7m、全幅2.9m、全高2.5m、全重3.2tであり、全長は前述のSST-1400に比較して約18％短く、取り回しが容易なものとなっている。石礫タンクの容量は約1.4m³で、適応トラクタは73.5kW（100PS）以上、駆動はPTO軸、およびトラクタ油圧で行う。

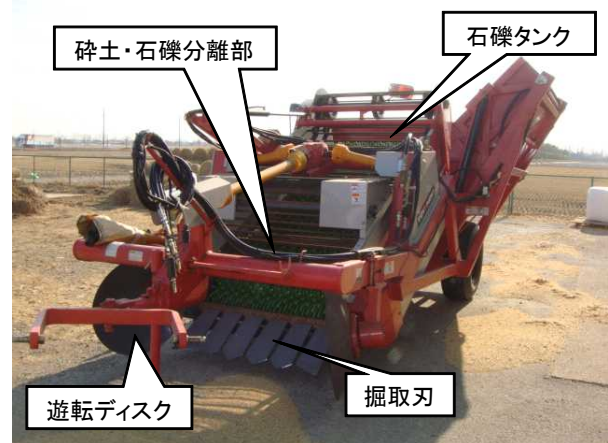



図２　開発機の概要

土塊の掘取りは、２枚の遊転ディスクとショベル型の掘取刃で行う。遊転ディスクは軸が横方向に対して22°傾斜しており、土塊を内側に寄せるため、砕土･石礫分離部の有効幅より広い作業幅での作業が可能である（図３）。砕土・石礫分離は、星形ロールコンベア、バーコンベアで行う（図４）。

星形ロールコンベアは土塊を粉砕するとともに、間隙から粉砕した土壌を落とし、石礫を分離する構造で、間隙はスペーサの選択によって22.5～40.0mmに変更可能である。星形ロールコンベアは駆動しているために目詰まりが起こりにくい。バーコンベアは、油圧で駆動し、周速度を変えられる。バーコンベアの回転速度を速くすることにより、星形ロールコンベア上を流れる土塊の速度を上げ、30mmより小さい石礫を除去することができる。

開発機は、石礫排出時には砕土・石礫分離部の中央部で上方に折り曲げてダンプする構造とし、石礫タンクは砕土・石礫分離部の下スペースまで有効に使用でき、全長はコンパクトになった（図５）。

表３　開発機の主要諸元

| 項目 | 諸元 |
|---|---|
| 機体 | |
| 全長×全幅×全高 | 5.70m×2.87m×2.52m |
| 質量 | 3,210kg |
| 有効作業幅 | 1.60m、1.87m |
| 輪距 | 1.61m |
| タイヤサイズ | 11.5/80-15 10Ply |
| 駆動方式 | PTO駆動、油圧 |
| 装着方式 | リンケージドローバー |
| 掘取部 | |
| ①方式 | 遊転ディスク |
| ディスク径 | φ760mm（２枚） |
| ②方式 | 掘取刃 |
| 形状 | ６ポイントショベル型 |
| 適正作業深 | 250mm |
| 最大作業深 | 300mm |
| 砕土・石礫分離部 | |
| ①方式 | 星形ロールコンベア |
| 駆動方式 | PTO駆動 |
| 間隙 | 27.5mm |
| 列数 | 12列 |
| 回転速度 | 210rpm |
| ②方式 | バーコンベア |
| 駆動方式 | 油圧モータ |
| ロッド径 | φ16mm |
| 幅、ピッチ | 1.25m、80mm（石抜部120mm） |
| 排出部 | |
| 方式 | 油圧ダンプ式、左排出 |
| 排出高 | 2.13m |
| 石礫タンク容量 | 1.4m$^3$（約2.5t） |
| 適応トラクタ | 74kW(100PS)以上 |
| PTO回転速度 | 400rpm(許容450rpm) |
| 油圧系統 | 複動２系統 |
| 油圧流量 | 20～100L/min |
| リリーフ圧 | 16.7～20.6Mpa |

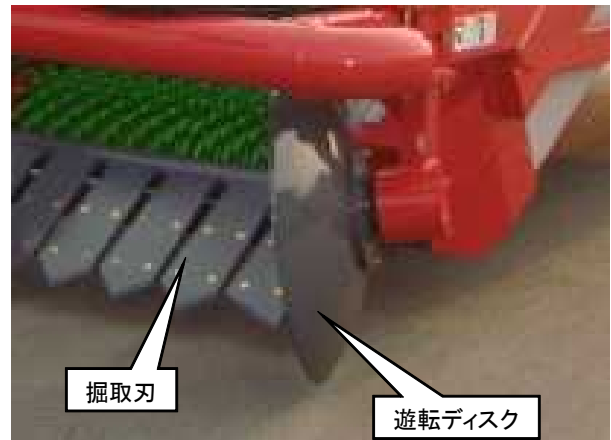



図３　掘取り部

図４　砕土・石礫分離部

図５　開発機のコンパクトな全長
（手前が開発機、奥が既存機）

## ３．開発機の性能

### １）所要動力

開発機の動力特性を把握するために、2011年５月21日に、北海道芽室町内の農家ほ場Ⅰにおいて、開発機と対照機のけん引動力、PTO動力を測定した。ほ場Ⅰの土壌は褐色低地土である。対照機はSST-1400、トラクタは73.5kW（NEW HOLLAND 8160、4WD）を供した。設定作業深は20、25、30cmとした。PTO軸トルクおよび回転速度の測定には、回転動力計（日計電測特注品、定格容量1.96Nm）を使用し、けん引抵抗は自作フレームにロードセル（ミネベアUMM1－2T）を左右２個装着したけん引動力計（図６）、作業速度はGPS速度計（アルファナビゲーション特注品）を使用した。

a)けん引抵抗

b)PTO軸トルク

図６　動力測定

作業深20、25、30cmにおける開発機の作業速度は、各々0.55、0.54、0.36m/sであった。対照機は作業深30cmではけん引不可で、作業深20、25cmで作業速度は各々0.30、0.15m/sであった。開発機は作業幅が広いにもかかわらず、明らかにけん引抵抗が小さく、高速作業が可能であることが確認された（表４）。これはディスクのけん引抵抗が小さいためと考えられる。開発機の所要動力は、作業深25cm、作業速度0.54m/sの条件下、けん引動力が12kW、PTO軸が11kW、全所要動力が23kWであった。一方、対照機の所要動力は作業深25cm、作業速度0.15m/sの値は各々4kW、14kW、18kWであった。

表４　けん引抵抗

| | 開発機 | | | 対照機 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作業速度(m/s) | 0.55 | 0.54 | 0.36 | 0.3 | 0.15 |
| けん引抵抗(kN) | 17.4 | 22.7 | 26.0 | 19.9 | 27.3 |

液性指数:1.0、土壌硬度（MPa）0cm: 0.0、5cm:0.0、10cm:0.0,15cm:0.1、20cm:0.5、25cm:0.8、30cm:1.2

### ２）作業精度

開発機の残存石礫割合を対照機と比較するため、2011年５月19～20日、および10月５～６日に精度試験を行った（表５、図７）。試験は前述のほ場Ⅰ、および芽室町内農家ほ場Ⅱで行い、両ほ場とも褐色低地土である。対照機はSST-1400、トラクタは73.5kW（NEW HOLLAND 8160、4WD）を供した。

ほ場Ⅰは野菜栽培ほ場で、農家がロータリハローで耕耘整地を行っており、５月18日にケンブ

**表５　精度試験の試験日と土壌条件**

| | ほ場Ⅰ | ほ場Ⅱ |
|---|---|---|
| 試験日 | 2011.5.19～5.20 | 2011.10.5～10.6 |
| 種類 | 褐色低地土 | 褐色低地土 |
| 液性限界 | 1.0 | -2.9 |
| 硬度(MPa) | 0.0、0.0、0.0,0.1、0.5、0.8、1.2 | 0.0、0.1、0.9、1.4、1.6、1.5、2.3 |

硬度は深さ0～30cmの5cm毎の値

リッジローラーで整地を行った。開発機のバーコンベア周速度を0.61m/sで、設定作業深を20、25、30cmとした。ほ場Ⅱは麦跡残渣があるほ場で、慣行のとおり事前にサブソイラを掛けた。ほ場Ⅱではバーコンベアによる砕土性能を上げて、タンクへの混入土砂量を減少させるため、バーコンベアの周速度を試験Ⅰよりも遅く、0.21m/sに設定し、設定作業深を20、25cmとした。測定項目は、作業前の石礫割合、石礫個数、土壌水分、土壌硬度、作業速度、スリップ率、作業後の残存石礫割合、残存石礫個数、除去石礫量、混入土砂量、作業深を測定した。作業前の石礫割合は1m四方の金属枠を水平に置き、スコップで深さ30cmまでの原土を深さ10cm毎に掘取り、JISふるいの100、50、30mmによって４層にふるい分け、30mm以上の石礫質量を測定し、石礫割合＝石礫質量/石礫密度/採取原土容量（石礫密度は2.6t/m$^3$とした）で算出した（図８）。試験は助走を行ったうえで、測定区間は10mとした。タンクの回収物は全てふるい分け、除去した石礫（除去石礫）、およびタンクに混入した土砂（混入土砂）の質量を測定した。作業後の残存石礫割合は、横幅を有効作業幅、長さを1m、深さは各々の試験区の作業深とし、石礫割合と同様に算出した。

精度試験結果を表６に示す。ほ場Ⅰの作業前の石礫割合は1.6％と５％以下のほ場の試験となった。開発機は、作業深25cmでは作業速度は0.43m/s、作業深30cmでは作業速度が0.36m/sで作業が可能であった。一方、対照機は作業深25cmで作業速度0.13m/sで作業が可能であったが、作業深30cmでは作業ができなかった。開発機区の残存石礫割合は、対

a)対照機の精度試験(2011年５月19日、ほ場Ⅰ)

b)開発機の精度試験(2011年10月６日、ほ場Ⅱ)

**図７　精度試験の風景**

a)石礫割合の測定

b)ふるい分け作業

c)ふるい分けられた石礫

**図８　精度試験の測定中の様子**

照機区と同様に0.1%以下まで除礫できたが、作業面積当たりの混入土砂量は67.5～84.3kg/m²となり、対照機区8.4～12.2kg/m²に比較して７倍程度多かった。

ほ場Ⅱの作業前の石礫割合は7.4%と石礫がやや多いほ場での試験となった。開発機は作業深27cmで作業速度0.71m/sとなり、対照機の作業深23cm、作業速度0.41m/sに比較して高速作業が可能で、開発機の残存石礫割合は0.1%以下で、混入土砂量は0.03～0.38kg/m²と対照機と同等に少なく、残渣による目詰まりもなく、良好な石礫除去作業が行えた（図９）。バーコンベアの回転速度を適切に調整することにより、作業精度が既存機と遜色のない性能を示した。

**図９　残渣のあるほ場での作業状況**
**（図の左側が作業後の状況）**

**３）作業能率**

2011年５月20日にほ場Ⅰで、2011年10月５日にほ場Ⅱで能率試験を行った。両ほ場とも褐色低地土である。ほ場Ⅰは長辺が273m、供試面積は約30a、ケンブリッジローラによる整地を実施している。ほ場Ⅱは長辺が270m、供試面積は約38a、ほ場表面の麦跡残渣はそのままで、慣行のと

**表６　石礫除去の作業精度**

| ほ場 | 供試機 | 作業深 | 作業速度 | 残存石礫割合(%) | | | | 作業面積当り |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (cm) | (m/s) | 30-50 | 50-100 | 100< | 合計 | 混入土砂量(kg/m²) |
| Ⅰ | 開発機 | 20 | 0.45 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 84.3 |
| | | 25 | 0.43 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.04 | 73.8 |
| | | 30 | 0.36 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 67.5 |
| | 対照機 | 20 | 0.28 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 12.2 |
| | | 25 | 0.13 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 8.4 |
| Ⅱ | 開発機 | 18 | 0.71 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.03 |
| | | 27 | 0.73 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.38 |
| | 対照機 | 17 | 0.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.28 |
| | | 23 | 0.41 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.08 | 1.16 |

a）有効作業幅1.60m　　b）有効作業幅1.87m

**図10　開発機の作業方法**

（各図の左畝が前工程で作業した畝）

**図11　石礫排出時の風景**

（砕土･石礫分離部を折曲げ、ダンプ）

おり事前にサブソイラを掛けた。対照機はSST-1400を、トラクタは73.5kW（NEW HOLLAND 8160、4WD）を供した。作業速度は各々、精度試験と同等とした。開発機はほ場Ⅰでは片輪が前工程の溝（畝間）を走行する作業方法で、有効作業幅は1.60mで行った。設定深さは20cmとした。ほ場Ⅱでは両輪とも地表を走行する作業方法で、有効作業幅は1.87mで行った（図10）。設定作業深は開発機25cm、対照機20cmとした。

開発機は、石礫排出工程（図11）も含め、概ね順調な作業が可能であった。開発機のほ場Ⅰでの開発機のほ場作業量は0.18ha/hとなり、対照機の0.12ha/hに比較して50％高かった（図12）。ほ場Ⅱでは作業方法、およびサブソイラ掛けの実施により、開発機のほ場作業量は0.35ha/hに向上し、対照機の0.18ha/hに比較して約95％高かった（図13）。

**図12　ほ場Ⅰにおける作業能率**

作業速度：開発機0.46m/s、対照機0.29m/s
作業深：開発機25cm、既存機25cm

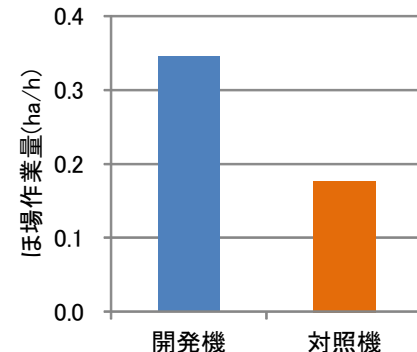



**図13　ほ場Ⅱにおける作業能率**

作業速度：開発機0.71m/s、既存機0.41m/s
作業深：開発機25cm、既存機20cm
前処理：サブソイラ

## おわりに

回転ふるい方式の既存機に比べ、広い作業幅で、かつけん引抵抗が小さく、高速作業が可能な石礫除去機を開発した。本機は既存機の約２倍の高能率な性能を有し、実用化の目途をつけた。来年度に市販化の予定である。

なお、バレイショの播種床から、開発機により30～100mmの石礫をほ場外に出す試験を行った結果、現行ソイルコン体系と同等な作業精度、品質、収量を得た。一方、近年、北海道では収穫機から落下した30mm以下のいわゆる野良イモが越冬し、雑草化する深刻な問題が発生しており、開発機による野良イモ防除の可能性がある。今後、さらに改良を行うとともに、適応性技術を拡大することによって、汎用化が期待できると考えている。

## 参考文献

１）帯広畜産大学農業作業機械学教室、道立十勝農業試験場農業機械科：畑作地帯における石礫除去機械の性能と工法、昭和50年度

２）松田清明、宮本啓二、佐藤禎：稔除礫がバレイショおよびテンサイの収穫に及ぼす効果、帯大研報14、365～371、1986

３）南部　悟、宮本啓二、松田清明：石礫地帯での農業機械の利用及び摩耗について、農業機械学会支部会報、第22号、15～24、1981

４）南部　悟、宮本啓二、松田清明、佐藤禎稔：除礫と機械、昭和56年度土層改良（石れき除去）調査報告書、北海道十勝支庁、91-112、1982

５）鈴木　剛、松永　浩：播種床造成による馬鈴薯の高生産性作業システム、北海道立農試集報、81、53-56（2001）

６）鈴木　剛：バレイショ播種床造成栽培法における収量性の向上と適応土壌型、北海道立農試集報、85、21-24（2003）

７）山田龍太郎、森元　幸、石田茂樹、大津英子、横地泰宏、2006、バレイショ収穫時における発生衝撃強度と塊茎打撲発生率、農業環境工学関連７学会2006年合同大会、要旨集（CD-ROM版）、A-47

８）大沼広行、湯浅博之、寺林健一：除礫計画における対象含礫率と最適作土深について、農業土木学会全国大会講演要旨集、372-342 、 2004

９）田中英彦、白旗雅樹、渋谷幸平、竹中秀行、稲野一郎：ばれいしょ栽培におけるストーンクラッシャの活用技術、北海道農業研究成果情報、2008

10）村井、道場他：ストーンピッカの性能について（第３報）、農業機械学会支部会報、第19号、91～86、1978

11）村井、道場他：ストーンピッカの性能について（第４報）、農業機械学会支部会報、第20号、110～114、1979

12）道場、村井他：ストーンピッカの性能について（第５報）、農業機械学会支部会報、第22号、85～89、1981

13）高久、村井他：ストーンピッカの性能について（第６報）、農業機械学会支部会報、第22号、91～95、1981

14）北海道農業開発公社：石礫除去機試験成績書、1972

15）北海道十勝支庁：畑総事業における石れき除去の十勝地区調査報告書、43～64、1980

16）北海道上川支庁：麓郷地区の畑総事業における石れき除去の十勝地区調査報告書、54～74、1980

17）北海道十勝支庁：土層改良（石れき除去）調査報告書、65～90、1981

18）北海道上川支庁：畑総事業における石れき除去の調査報告書、85～115、1981

19）吉田一男、石谷栄一、角　厚志、工藤正義、大川俊二：トロンメルシーブを具えたストーンピッカの性能、専修大学北海道短期大学紀要、第13号、72～78、1980

20）北海道立中央・十勝・根釧農業試験場：ストーンピッカSST-1400、性能試験成績書、1988

21）北海道立中央・十勝・根釧農業試験場：ストーンピッカST-1100-S、性能試験成績書、1988

22）北海道立中央・十勝・根釧農業試験場：ストーンピッカSPGSD-1、性能試験成績書、1988

# 高速作業が可能な不耕起対応トウモロコシ用播種機


| | |
|---|---|
| 畜産工学研究部 | 橘　保宏、川出哲生、<br>志藤博克（現基礎技術研究部） |
| 岩手県農業研究センター畜産研究所 | 堀間久己 |
| 群馬県畜産試験場 | 横澤将美 |
| 共同研究実施会社 | アグリテクノ矢崎株式会社 |

## はじめに

畜産経営の高齢化に伴う労働負担の軽減や自給飼料の生産拡大を図るためには、飼料生産の外部化を一層推進することが重要であり[1]、飼料生産支援組織であるコントラクターへの期待が高まっている。飼料作物の中でも青刈りトウモロコシ（以下、トウモロコシ）は、TDN 収量が高いため作付面積の拡大が期待されている。さらに、トウモロコシの不耕起栽培が耕うん整地作業を省略できるとして注目されている。不耕起栽培は慣行の耕起栽培と比べて収量が落ちる懸念もあるが、不耕起栽培トウモロコシの収量は耕起栽培と同等で耐倒伏性が高い傾向にあること[2]、東北の黒ボク土地帯でも不耕起栽培で安定した収量が得られること[3]が報告されている。しかし、トウモロコシの不耕起栽培を行う場合には海外製の不耕起播種機を利用することが一般的だが、海外製は大きく重いため、小規模なほ場での利用には適していないことが課題[4]となり、その普及は伸び悩んでいる。

そこで、生研センターでは、アグリテクノ矢崎（株）と共同で、コントラクターによる利用を対象とし、我が国の 20～30a 程度の水田ほ場でも高能率な播種作業が可能で、不耕起栽培にも対応するトウモロコシ用播種機（以下、開発機）の開発を行ったので、その概要を報告する。

## １．開発目標

開発に当たっては、具備すべき性能等の目標を次のとおり設定した。

（１）22kW（30PS）程度のトラクターでトウモロコシの不耕起播種が可能

（２）不耕起ほ場に限らず、慣行の耕うん整地ほ場での利用も可能

（３）速度 2m/s で作業が可能

## ２．開発機の構成

試作した開発機は、新たに開発した高速種子繰出装置および高速種子土中定着機構を組み合わせた構造とした（表１、図１）。

**表１　開発機の主な仕様**

| | | |
|---|---|---|
| 長さ×幅×高さ（mm） | | 1330×1410×670 |
| 質量（kg） | | 328 |
| 高速種子繰出装置 | 構造様式 | 2 層プレート構造 |
| | 種子分離プレートの種類* | N16φ7<br>N16φ8<br>N16φ9 |
| | プレートの駆動方法 | DC12V サーボモーター |
| 速度検出方法 | | エンコーダ付き転輪 |
| 条数 | | 2 |
| 条間調節範囲(cm) | | 60～80 |
| 株間調節範囲(cm) | | 13～25 |

＊：N は分離プレート外周の切り欠きの数、φは切り欠きの内接円直径(mm)を示す。

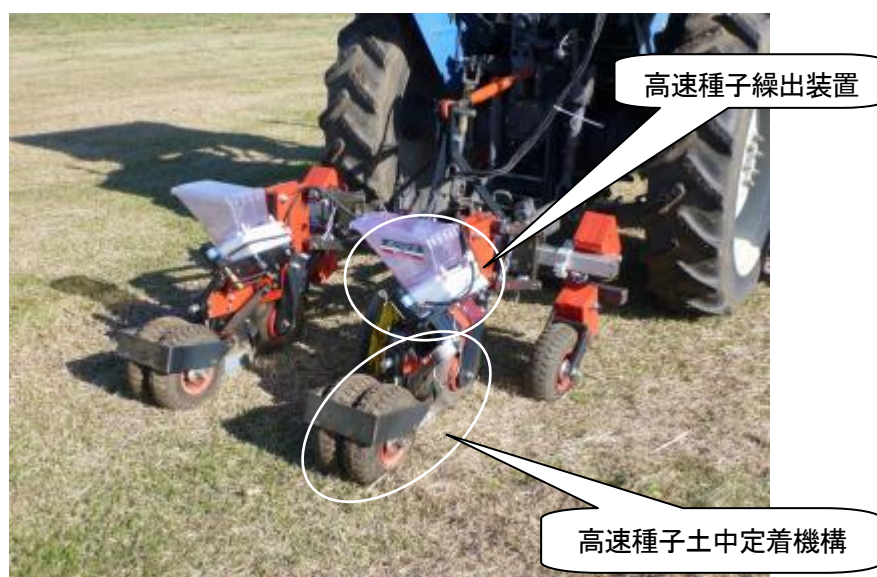



図１　開発機の構成

１）高速種子繰出装置

（1） 構造

高速種子繰出装置は、種子分離プレートと放出プレートの２つのプレートからなる２層プレート構造とした（図２）。種子分離プレートは、種子貯留ホッパ内の種子を１粒ずつ分離する機能を持ち、放出プレートは、分離した種子を装置の最下端から播種機の進行方向後方へ放出する機能を持つ。２つのプレートは、仕切り板を挟んで同軸で同方向に回転する。種子分離プレートは、受け渡し穴から放出プレートへの移動をスムースにするため、種子ホルダを外周に配置するとともに種子ホルダの形状はプレート放射方向に開いた切り込みとした。高速時にも種子を定量ずつ分離できるよう、種子ホルダの進行方向後側のプレート厚を前側より厚くした（図３）。種子分離プレートは、種子の大きさに応じて交換する。

なお、播種機へ高速種子繰出装置を搭載するときは、落下種子の対地速度の影響が小さくなるように、種子放出位置はプレートの最下点とし、種子の放出方向が播種機の進行方向と反対方向となるように設置する。

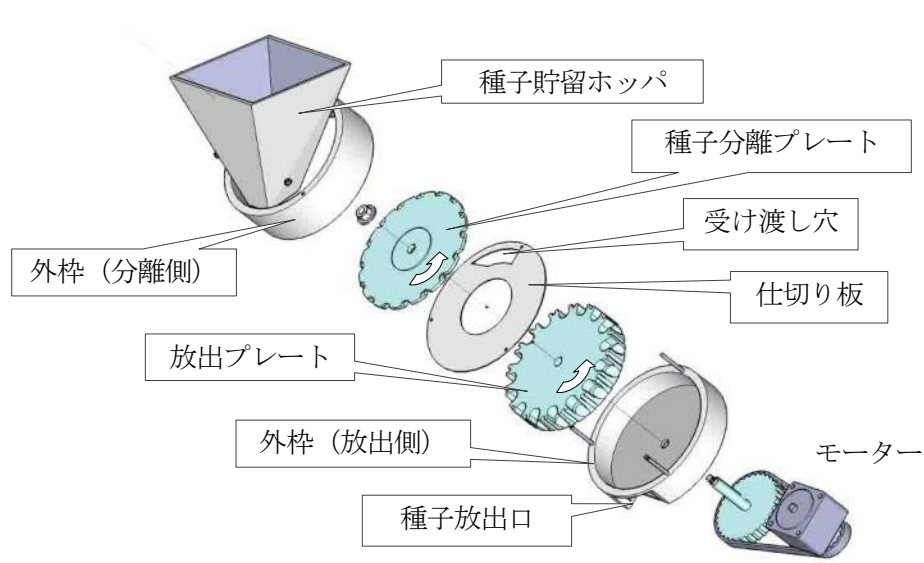



**図２ 開発機に搭載した高速種子繰出装置**

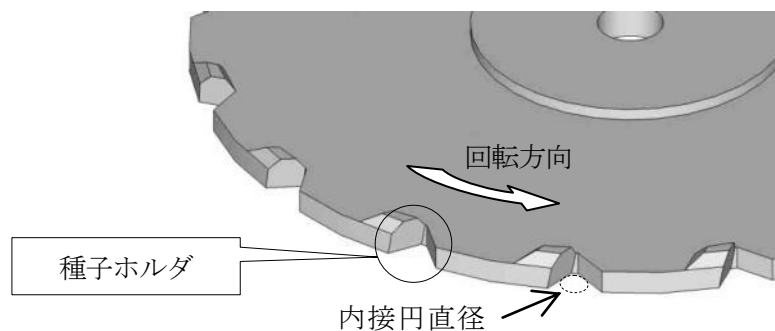



**図３　種子分離プレートに設けた種子ホルダの位置と形状**

（２） 繰出精度

プレート回転軸が垂直から 38～62° の範囲に傾くように装置全体を傾け、１粒率への影響を調べた。１粒率は、種子放出口を高速度カメラで撮影した後、モニター上で欠株、１粒、２粒の回数をカウントし、１粒の回数を全繰出回数で除して求めた。繰出速度は、12 回/s（株間 20cm のとき作業速度 2.4m/s に相当）に設定した。

その結果、横方向に 42～58° の範囲では１粒率が約 98%以上となったが、その範囲から外れると１粒率が低下した（図４）。このため、播種機への搭載時のプレート軸の傾きはその中間の 50° に設定することとした。なお、播種機進行方向に対して前後方向の傾斜による繰出精度への影響はほとんどなかった。

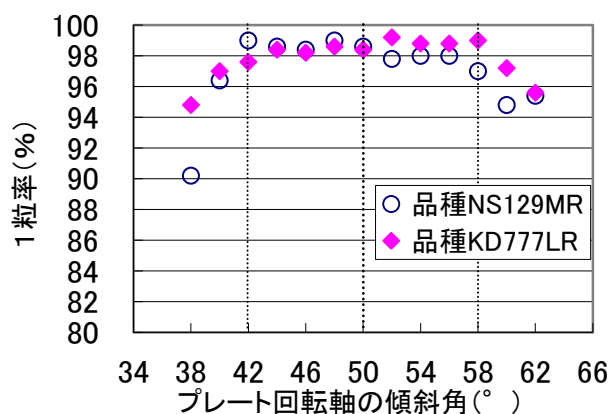



図４　プレート回転軸の傾斜角とトウモロコシの１粒率

２）高速種子土中定着機構

高速種子土中定着機構は、ディスクコールタ、溝拡幅部、種子誘導スリット、鎮圧輪で構成した。ほ場表面に切り込みを入れるディスクコールタとその切り込みを拡幅する溝拡幅部を直列にほぼ接する状態で配置し､残渣があっても押し切ることで地表面の状態の影響を受けにくくした。また、溝拡幅部で広げた溝に種子誘導スリットを通過した種子が着床し、鎮圧輪によって覆土鎮圧する構造とした。溝拡幅部の先端は、前進時に地中に入りやすい形状とし、後部の鎮圧輪によって地中への食い込みを抑え、播種深度を安定させる構造とした（図５）。

図５ 高速種子土中定着機構

開発機による不耕起ほ場での播種作業と播種後のほ場表面の状況を図６に示す。

図６　不耕起ほ場での播種作業（左）と播種後のほ場表面（右）

## ３．開発機の性能

### １）作業精度

開発機を 22kW（30PS）のトラクターに装着し、イタリアンライグラスを収穫後の不耕起ほ場と慣行の耕うん整地ほ場において、トウモロコシ種子を株間 19cm、作業速度 0.7、1.5、2.0m/s で播種試験を行った。その結果、作業速度に係わらず繰出回数に対する１粒繰出回数の割合（以下、１粒率）は、室内試験と同様に 98%以上であった。

また、株間のばらつき（標準偏差）は、作業速度が 0.7、1.5、2.0m/s のとき、不耕起ほ場でそれぞれ 3.1、3.4、5.2cm、耕うん整地ほ場でそれぞれ 3.5、4.4、7.2cm であり、不耕起ほ場でも耕うん整地ほ場でも問題はなかった（表２、図７、試験場所：群馬県畜産試験場内ほ場）。

表２　トウモロコシ用試作播種機の作業速度と１粒率および株間*1

| 試験ほ場 | １粒率*2、株間 | | 作業速度（m/s） | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0.7 | 1.5 | 2.0 |
| 不耕起ほ場（前作物：イタリアンライグラス） | １粒率(%) | | 100 | 99 | 99 |
| | 株間(cm) | 平均 | 17.8 | 17.8 | 18.0 |
| | | 標準偏差 | 3.1 | 3.4 | 5.2 |
| 耕うん整地ほ場 | １粒率(%) | | 100 | 99 | 98 |
| | 株間(cm) | 平均 | 18.4 | 18.9 | 19.7 |
| | | 標準偏差 | 3.5 | 4.4 | 7.2 |

＊1：供試トウモロコシは KD777NewMF、分離プレートは N16φ8、設定株間は 19cm。
＊2：総繰出回数に対する１粒点播された種子の割合であり、株間 5cm 以内を１回２粒繰出、設定株間の２倍以上を欠株と判定。

図７　残渣が残る不耕起ほ場（左）と耕うん整地ほ場（右）のトウモロコシ出芽状況
（いずれも手前２列が作業速度 2.0m/s）

２）作業能率

開発機を 40kW（55PS）のトラクターに装着し、リードカナリーグラス主体の永年牧草地 20a（20×100m の不耕起ほ場）で能率試験を行い、ほ場作業量は 64a/h（1.6 時間/ha）、ほ場作業効率は 65%であった。この能率は、同じ２条の播種機による標準的な作業能率 5.2 時間/ha[5] の約３倍であった。平均播種深さは、作業速度による差は小さく 35〜38mm（標準偏差 9〜11mm）であった（試験場所：岩手県農業研究センター畜産研究所内ほ場）。

なお、石が多いほ場では、高速で作業するとディスクコールタが石に当たり、開発機が跳ねるように上下するため、速度を落とす必要があると考えられた。

## おわりに

開発機は、22kW（30PS）程度のトラクターでトウモロコシの不耕起播種が可能で、不耕起ほ場と耕うん整地ほ場の双方に適応し、2m/s で作業が可能であることの３つの目標を達成し、平成 24 年度中の実用化の見通しを得た。

なお、高速種子繰出装置については、室内試験の段階ではあるが、トウモロコシだけではなく、ソルガム、大豆、さらに飼料イネ、麦類等の繰出が可能であることを確認している。今後は、高速種子土中定着機構を他の作物にも適合させるなど、作物適応性の高い高速播種機の開発を検討予定である。

## 参考文献

１）農林水産省（2010）：酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針（平成 22 年７月 27 日公表）http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/h2207_rakuniku.pdf

２）原田直人、小村洋美、宮薗勉、竹之内豊（2010）：不耕起栽培トウモロコシの収量は耕起栽培と同

等で耐倒伏性が高い傾向にある、九州沖縄農業・畜産・草地（草地飼料作）研究成果情報［技術・普及］
3）魚住 順、平久保友美、出口新、嶝野英子、折舘信、堀間久己、尾張利行（2007）：トウモロコシは不耕起栽培でも耕起栽培と同等の収量性が得られる、東北農業・畜産、畜産草地研究成果情報［技術・普及］
4）加藤直樹（2011）：九州における飼料用トウモロコシ不耕起栽培技術の紹介、日本草地学会誌 57（3）：172-175
5）農林水産省生産局農業生産支援課（2008）：高性能農業機械等の試験研究、実用化の促進及び導入に関する基本方針参考資料（平成 20 年８月）

# 農業機械・資材への循環型バイオマスプラスチック導入に関する基礎研究

基礎技術研究部　　　　長澤教夫、藤井幸人、臼井善彦、Nguyen Kim Quyen
大西正洋（現園芸工学研究部）
九州工業大学　　　　　附木貴行、安藤義人、白井義人、西田治男
大洋化成株式会社　　　堀井崇良
広島県立総合技術研究所
　西部工業技術センター　田平公孝
群馬県農業技術センター　古屋　修、堀口数子

## はじめに

現在、地球規模での温暖化ガスの増加や昨今における原油価格の高騰、将来における化石資源の枯渇が大きな社会問題となっている[1)]。このような中、環境負荷低減と資源循環利用を目的として、カーボンニュートラルかつ生産・利用・廃棄過程の化石エネルギ依存比率低減が可能なバイオマス資源の研究開発が各方面で進められている[2)]。しかし素材に関してみると、実験室レベルで数多くの材料が開発されているものの、農業機械・農業資材等の分野では実用化・普及段階に至っているものは少ないのが現状である[3)-5)]。また、現時点では品質、性能、機能面、さらには材料としての入手しやすさの点を考慮すると、既存の石油系プラスチックを代替しうるものとしては、ポリ乳酸を主体とするバイオマスプラスチック（以下ＢＰ）が有力であると考えられる（図１）。

材料の循環利用（リサイクル）が比較的容易なポリ乳酸を主体とするＢＰを農業機械部材に適用すればリサイクル・再利用を通じて環境負荷低減を図ることができ、農業資材に適用できれば環境負荷低減とともに資材回収の少量化・循環利用が可能となる。その結果、新しい概念の農業機械や農業資材の可能性が開ける。さらに、例えば分解時間の制御や肥料等の機能付与など農業機械・資材利用現場の要求に合った循環型多機能ＢＰの開発、導入ができれば農業機械や作業の効率化が実現できる。

本報告ではポリ乳酸を主体とする循環利用可能なＢＰによる農業機械部品の試作とリサイクル、及び再生した農業資材による栽培試験を通して再利用可能性について述べる。さらに未利用バイオマスを有効利用しつつ、農業特有の機能性をあわせ持つ新しいバイオマス素材開発の可能性と展望について報告する。

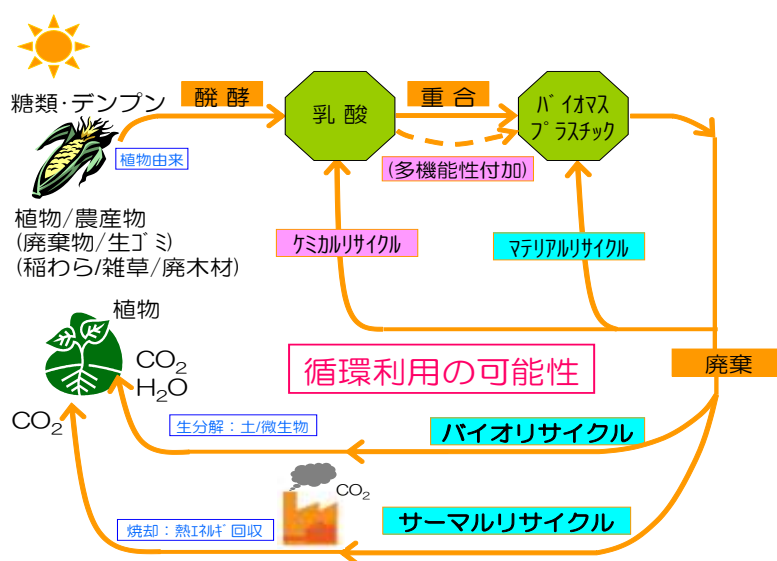



図１　循環型バイオマスプラスチック

## １．バイオマスプラスチックを用いた農業機械部品の試作

### １）ポリ乳酸による農業機械レバーグリップの試作

トウモロコシ由来のポリ乳酸を主体とするＢＰ４種類、及び比較対象用として通常の汎用樹脂ポリプロピレン（以下ＰＰ）を供試材料（表１）とし、農業機械の操作レバーグリップを試作した。ポリ乳酸 100%の素材では射出成形の際に一部ドット抜け（空包）が生じることもあったが、いずれのＢＰも通常の汎用樹脂製造用の一般的な射出成型装置による成形が可能であった。

試作したＢＰによる農業機械レバーグリップを農用運搬車、乗用管理機、歩行用トラクタに実装し、生研センター附属農場での農作業に供試した（図２）。約３年間にわたる実農作業における経時変化調査では、農作業上のトラブルはなく、耐久性、強度、外観等の問題点は見いだされなかった。

また、試作農業機械レバーグリップを完全燃焼させた時の生成ガス分析（検知管法・イオンクロマトグラフ法による）、及び発熱量の測定（JIS M8814 ボンブ熱量計による）を行った結果、ＢＰの $CO_2$ 発生量はＰＰの半分程度、発熱量は３～４割程度であり、$CO_2$ 以外の燃焼ガスは検出されなかった。したがって、仮に使用済みＢＰの廃棄処分をする際に焼却処分したとしても環境への影響は多くの有害ガスを排出する汎用樹脂に比べて小さいものと考えられる。

表１　供試材料

| 製品名 | 素材供給元 | 組　成 |
|---|---|---|
| H-100 | 三井化学 | ポリ乳酸 100% |
| M-151 | 三井化学 | ポリ乳酸 30%<br>生分解性ポリエステル 45%<br>フィラー 25% |
| TE-7307 | ユニチカ | ポリ乳酸 65%<br>生分解性ポリエステル 10%<br>フィラー 25% |
| R-50 | ジョーアース | ポリ乳酸 50%<br>米粉 50% |
| BC2E | 日本ポリプロ | ポリプロピレン 100% |

図２　試作農業機械レバーグリップ例

**２）試作農業機械レバーグリップの経時変化**

試作した農業機械レバーグリップを大気中、水田土壌中、畑土壌中の３環境下に放置し、一定期間ごとに強度と GPC 法（Gel Permeation Chromatography）による分子量、分子量分布を測定した[6)]。

大気中ではＰＰと米粉含有ＢＰの強度低下が顕著で、３年後には初期状態の 8～10％に低下した。ＰＰは大気中での強度低下が非常に顕著であり、水田土壌中、畑土壌中においても強度は低下した。水田及び畑土壌中では米粉含有、生分解性ポリエステル高含有のＢＰ強度が 0～13％に低下したが、他のＢＰでは３年後も明確な強度低下は見られなかった。時間の経過による強度低下がみられないＢＰについては、より長期間にわたる検討や耐候性加速促進試験等による検討が必要と考えられる。

一方、GPC 分析の結果、いずれの材料も重量平均分子量の減少がみられ、ＰＰに比べてＢＰの減少割合が大きく、ＢＰはＰＰより高分子側の分子量減少が大きいことが明らかとなった。分子レベルでの材料内部劣化が生じていると推察される。数平均分子量の減少は少なく、分散度には明確な変化は見られなかった。

３年間の重量平均分子量は米粉含有ＢＰの低下が大きく、大気中、水田土壌中、畑土壌中のいずれも初期状態に比べ３年後には 32～41％程度に低下した。強度低下がみられなかったＢＰにおいても３年間の重量平均分子量は 60～78％へ緩やかな減少傾向を示しているため、ＢＰ農機レバーの経時劣化の指標としては分子量が有効と考えられる。

## ２．バイオマスプラスチックを用いた農業機械部品のリサイクル

### １）基礎試験（熱分解特性）

試作した農業機械レバーグリップを供試して、等速昇温熱分解（TG 分析）、及び分解生成物同定（Py-GC/MS 分析）を行い、試作ＢＰグリップからポリ乳酸の原料となる L,L-ラクチドをケミカルリサイクルによる熱分解で選択的解重合する条件を検討した[7]。

まず、TG 分析から、供試材料に解重合触媒として酸化マグネシウムを添加することにより、分解温度を低下させてポリ乳酸成分を優先分解することが可能であることが分かった。また同時に酸化マグネシウムの添加は、試作農業機械レバーグリップの成分組成として存在する、石油由来の生分解性ポリエステルに対しては不活性であることが確認された。次に、Py-GC/MS 分析から、H-100 では 250℃までは L,L-ラクチドのみ、260℃以上ではラクチドの純度を低下させる副生物（メソラクチド、環状オリゴマー）が検出された（表２）。

これらの基礎試験結果から、解重合触媒として酸化マグネシウムを添加し、反応温度を 250℃に制御することによって、試作ＢＰグリップのポリ乳酸成分から L,L-ラクチドを選択的に解重合して取り出すケミカルリサイクルの可能性が明らかとなった。

表２　熱分解生成物（H-100）

| 温度(°C) | 生成物(%) | | |
|---|---|---|---|
| | メソ-ラクチド | L,L-ラクチド | オリゴマー |
| 240 | – | 100 | – |
| 250 | – | 100 | – |
| 260 | 11.02 | 88.98 | – |
| 270 | 9.51 | 90.49 | – |
| 280 | 11.15 | 81.24 | 7.61 |
| 290 | 12.12 | 75.96 | 11.92 |
| 300 | 14.47 | 74.65 | 10.88 |
| 400 | 23.65 | 57.24 | 19.11 |

### ２）ケミカルリサイクル実証試験

上記基礎試験の結果を踏まえ、触媒として酸化マグネシウムを 0.9％添加、加熱混練温度を 250～260℃に制御し、シーリング材として直鎖状低密度ポリエチレン（LLDPE）を用いて実機レベルでのエクストルーダによるケミカルリサイクル実証試験（選択的解重合試験）を行った[8),9)]。試験は連続して行い、投入量は５kg/h、総解重合時間は５時間 40 分であった。その結果、回収率 91％、純度 86％の精製前の粗ラクチドが回収できた（図３）。

その後、晶析装置にてトルエンを溶媒として粗ラクチドを加熱・攪拌・溶解・冷却することにより L,L-ラクチドを再結晶させた。スラリー化した結晶を遠心分離、真空乾燥し、再び再結晶化する工程を２回実施することによって純度 86％の粗ラクチドから純度 99％の精製ラクチドを得ることができた（図４）。得られた精製ラクチドを供試して小型装置で再重合を確認後（図５）、スケールアップしたエクストルーダ式重合装置にて開環重合試験を行った。その結果、重合率が高く成形可能量に十分な再生ポリ乳酸（11.5kg）が得られた。再生ポリ乳酸の純度は 98％であった。また、重量平均分子量は 125000 であり、元材料である農業機械操作レバーグリップの分子量より６～12％増大していたため、ケミカルリサイクルによって使用済みポリ乳酸をアップグレードできる可能性が示唆された。

３）リサイクル素材による農業資材の試作

試作ＢＰグリップのポリ乳酸成分からケミカルリサイクルによって解重合・精製・再重合過程をへて得られた再生ポリ乳酸をペレット化し、農業資材への再生を試みた[10)]。

通常の射出成形機を用いて再生ポリ乳酸による苗ポットの成形可能性を検討した結果、通常のポリ乳酸に比べて成形温度を若干高めに、型締め圧力を若干低目に調整することにより、ヒケ、ボイド等の不具合なく再生ポリ乳酸による苗ポットの射出成形が可能であった。

さらに、ケミカルリサイクルの過程で生じる残渣物の有効利用を目的に、リサイクル残渣樹脂をペレット化して苗ポット製造を試みた。その結果、射出成形は可能であったが、実際の資材製造時には流動性、結晶性、におい（ラクチド臭）等の改善が必要であると考えられた。そこで、残渣樹脂を105℃、180min 蒸気処理してラクチド臭を除去、成形温度と型締め圧力を高く調整設定して流動性等を改善することにより通常の射出成形機で成形可能となった（図６）。

これらの結果から、ＢＰを農業機械部品として利用すること、使用済み後にケミカルリサイクルによって農業資材として再利用できる可能性が見いだされた。

図３　ケミカルリサイクル実証試験

再結晶したラクチド
晶析装置
精製ラクチド

図４　精製ラクチドの作製

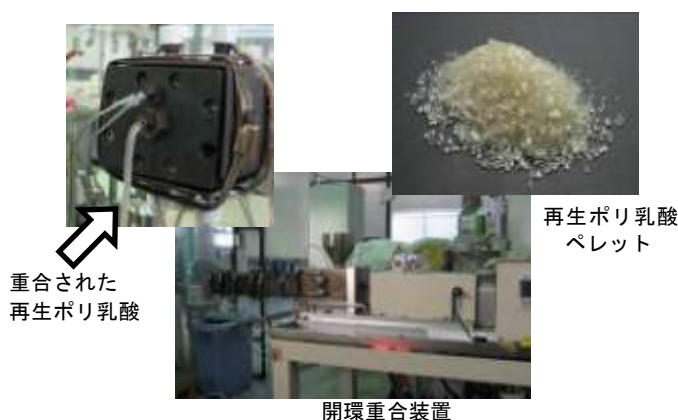



図５　ラクチド開環重合試験

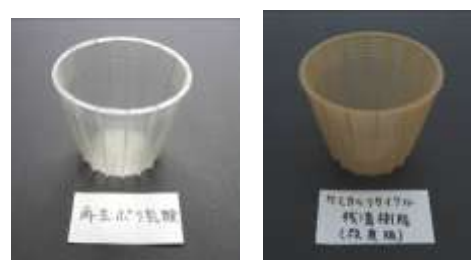



図６　再生ポリ乳酸と残渣樹脂による
試作苗ポット

### ３．未利用バイオマスを用いた複合材料の検討

ＢＰが本来持っている環境材料としての循環性と生分解性等の農業特有の機能性をあわせもつ農業資材を目指して、未利用バイオマスとＢＰの複合材料化を検討した[11)]。

まず未利用バイオマスとポリ乳酸を単純ブレンドすることによって苗ポットの成形を試みた[12)]。コンバイン収穫時に排出された麦わらをチッパで粉砕、生じた粉末（0.5㎜以下）をポリ乳酸とブレンドしただけの素材を通常の射出成形機を用いて苗ポットを試作した結果、麦わら粉末重量割合が15%程度までは射出成形可能であった。さらに、エクストルーダーで加熱溶融したポリ乳酸と麦わら粉末を混練した後ペレット化することにより、麦わら粉末重量割合を30%まで上げることが可能となった。

次に農業資材への機能性付加、例えば多孔性をもち、通気性が良好で、かつ生分解性をあわせもつ苗ポットへの応用展開を目的に、未利用バイオマスと分子量を低下させたＢＰ（オリゴマー）とのコンポジット化（複合材料化）を検討した[12)]。ポリ乳酸を加熱加水分解、粉砕した乳酸オリゴマーの微粉を作成し、未利用バイオマスとして稲わらと木粉を供試して熱プレスによる複合シートの作成、及びアルミカップを用いた圧縮充填加熱成形による複合圧縮成形体の作成を試みた結果、バイオマス複合素材の加熱溶融・圧縮充填成形の可能性が見出された。しかし、機械的強度不足のため容易に崩壊してしまうため、連鎖延長剤等による分子量増加、物性向上が必要と考えられる。

さらに未利用バイオマスそのもの自体を材料化することを目的として、バイオマスへの高分子樹脂モノマーの気相重合を試み、バイオマス複合材料化の可能性を検討した[13) 14)]。稲わら粉末へメタクリル酸メチル（MMA）モノマーを気相重合させた結果、稲わら表面でのMMAの重合が進行していることが確認された。得られた稲わら／ポリメタクリル酸メチル（PMMA）複合体には高分子体であるPMMAが有する撥水性の発現が認められ、気相重合法を用いた未利用バイオマスの複合材料化・機能性付加の端緒が得られたと考えている。

### ４．バイオマスプラスチックを用いた農業資材による花き栽培試験

１～３項での検討をもとに、ＢＰと未利用バイオマス／ＢＰコンポジットの農業資材へ導入可能性と問題点を抽出することを目的として、ポリ乳酸、ケミカルリサイクルによる再生ポリ乳酸、リサイクル過程で生じた残渣樹脂、麦／ポリ乳酸ブレンド素材、及び汎用樹脂を同一形状で試作した苗ポットを供試し、花き栽培試験を行った。

発芽室で出芽・子葉展開を確認、ガラス温室で育苗管理を行ったパンジーを上記の試作苗ポット（各45個）に鉢上げし、雨よけパイプハウスで1.5ヶ月間栽培試験を行った。施肥は培土の基肥のみとし、鉢上げ時に粒状肥料を鉢あたり1.5g施用、灌水は週２～３回行った。開花後、ポットごとパンジーを花壇へ移植した。同時に、慣行どおりポットからパンジーを取り出して花壇へ移植し、試作ポットの土中での生分解状況とパンジーの生育状況を調査した。

苗から開花までのパンジー栽培試験の結果、各種ＢＰ素材で試作した苗ポットのいずれについても草丈、主茎長、株径、地上部・根部の乾物重は慣行軟質ポットに比べて劣ることはなく、慣行と同等のパンジーが生育可能であった。根域を観察した結果、慣行軟質ポットでは根は横方向に伸張し、そ

の多くが鉢の縁に達していたが、試作ＢＰポットでは縦方向に伸張していた（図７）。根部の乾燥重が変わらないことから、根の光屈性による分布の差が生じたものと考えられる。透明度の高いポリ乳酸と再生ポリ乳酸では鉢内にアオミドロが生じて外観を損ね、商品価値が低下するため、加色することが望ましいと考えられる。ポットごと花壇へ移植したパンジーは埋め込み後、ポットの側面・上部で一部分解が生じたが、土中での生分解性発現が遅く、ポットなしのパンジーに比べて根の成長が抑制され、水分・養分吸収が少なく、しおれ状態となった（図８）。移植後の分解性促進が課題である。

a　　b　　c　　d　　e　　f　　g　　h　　i

a:ポリ乳酸 100%　b：麦／ポリ乳酸ブレンド素材（麦 5%）　c：麦／ポリ乳酸ブレンド素材（麦 10%）

d：麦／ポリ乳酸ブレンド素材（麦 15%）　e：麦／ポリ乳酸コンポジット（麦 30%）

f：ケミカルリサイクル再生ポリ乳酸　h：ケミカルリサイクル残渣樹脂　i：慣行軟質ポリポット

**図７　試作ポットによるパンジー栽培の根域状況**

**図８　花壇移植２ヶ月後のパンジーとポットの分解状態（麦 30%）**

## おわりに

農業機械・農業資材は、自然状態の中で、ほ場の土や水に触れながら炎天下や寒冷時でも使用されることが多い。そのような条件下でも、ポリ乳酸を中心としたＢＰは農業機械部品として使用可能であること、使用後にケミカルリサイクルによって農業資材へ再生して循環利用することが可能であることを示した。しかし、再生資材の農業現場における機能性発現には至らなかった。今後は、分子量を制御したＢＰや未利用バイオマスとの複合化による素材側からの研究を進めるとともに[15) 16)]、資材を使用する農業機械側の観点から物理的分解促進方法等の検討を行い、農業機械・資材分野におけるＢＰの循環利用の可能性とその導入方法について考察していきたい。

**参考文献**


１）小宮山宏・竹内和彦・住明正・花木啓祐・三村信男編：サステナビリティ学③資源利用と循環型社会，東京大学出版会，2010

２）坂口守彦・高橋是太郎編：農・水産資源の有効利用とゼロエミッション，恒星社厚生閣，2011

３）グリーンケミストリー研究会：プラスチックの資源循環のための化学と技術，高分子学会，2011

４）望月政嗣・大島一史監修：バイオプラスチックの素材・技術最前線，シーエムシー出版，2009

５）日本バイオプラスチック協会編：バイオプラスチック材料のすべて，日刊工業新聞社，2008

６）長澤教夫・田平公孝・堀井崇良・藤井幸人・大西正洋・小西達也・大西明日見：バイオマスプラスチックを用いた農業機械部品の経時変化（第２報），第 70 回農業機械学会年次大会講演要旨，274-275，2011

７）附木貴行・安田信彦・橋本憲明・白井義人・西田治男・長澤教夫：農業機械に使用される PLLA の精密解重合と再重合，高分子学会予稿集，59(1)，1Pg159(CD-ROM)，2010

８）附木貴行・長澤教夫・堀井崇良・永田浩一・白井義人・西田治男：農業機械に使用した PLLA／汎用樹脂のケミカルリサイクルとマテリアルリサイクル，プラスチック成形加工学会予稿集，389-390，2010

９）長澤教夫・附木貴行・堀井崇良・西田治男・白井義人・永田浩一・藤井幸人・大西正洋：バイオマスプラスチックを用いた農業機械部品のケミカルリサイクル,第 69 回農業機械学会年次大会講演要旨，198-199，2010

10）長澤教夫・附木貴行・堀井崇良・西田治男・白井義人・永田浩一・藤井幸人・大西正洋：バイオマスプラスチックを用いた農業機械部品から農業資材へのリサイクル,第 70 回農業機械学会年次大会講演要旨，272-273，2011

11）長澤教夫・藤井幸人・臼井善彦：未利用農業資源の材料化と農業への応用に関する一考察，第 47 回農業機械学会関東支部大会講演要旨，22-23，2011

12）長澤教夫・須田功一・桜井勇人・堀井崇良・田平公孝・藤井幸人・大西正洋：未利用農業資源／ポリ乳酸ブレンド素材による苗ポットの試作と強度及び栽培試験,第 47 回農業機械学会関東支部大会講演要旨，24-25，2011

13）長澤教夫・安藤義人・金同希・須田功一・桜井勇人・西田治男・白井義人・永田浩一・藤井幸人・大西正洋：未利用農業資源への気相重合によるバイオマス複合材料開発の可能性について，第 70 回農業機械学会年次大会講演要旨，276-277，2011

14）安藤義人・李喜星・金同希・長澤教夫・須田功一・白井義人・西田治男：気相重合法によるバイオマス複合材料の開発，第 20 回高分子学会ポリマー材料フォーラム予稿集，194，2011

15）附木貴行・長澤教夫・堀井崇良・白井義人・西田治男：ポリ乳酸の再資源化技術について，日本化学会第 92 回春季大会予稿集，18E4(CD-ROM)，2012

16）長澤教夫：バイオマスプラスチックの農業機械・資材への適用可能性について，農業機械分野におけるバイオマス研究最前線，農業機械学会，166-171，2011

# 農業機械のリスク低減のための基礎研究

特別研究チーム（安全）　積　栄、志藤博克、岡田俊輔、
杉浦泰郎、冨田宗樹、塚本茂善

## はじめに

農作業による死亡事故は、平成21年においても408件と、長年にわたり横這いの状況が続いている[1]。このうち、農業機械での作業によるものは毎年６～７割を占めており、さらなる安全性向上が重要な課題であることから、生研センターではこれに対応した様々な研究を行っている。

他業種においては、近年、機械安全に関する国際規格の考え方が定着しており、これに基づくリスクベースでの機械安全対策が進んでいる。国際規格の中では、安全とはリスクを受容可能なレベルまで低減させることにより達成されるものとしており[2]、またリスク低減方策についても、各種対策の優先順位が定められている。このため、生研センターでは、この機械安全に関する国際規格の考え方を活用し、より上位での安全対策等による安全性能向上の可能性および必要性の観点から農業機械における課題を整理し、具体的なリスク低減の実現に向けた機械および要素技術の検討につなげるべく基礎研究を行ったので報告する。

## １．国際規格が示す安全要件および農業者の不満から見た農業機械の問題点

まず、農業機械における現状の問題点を抽出すべく、国際規格における機械安全の要件と比較するとともに、農業者から見た不満点をアンケートにより調査した。

### １）ISO 12100が示す安全要件に照らした農業機械の現状

ISO 12100:2010では、機械のリスクについて、①本質的安全設計方策（危険が生じないように機械の設計または運転特性を変更することによる対策）、②安全防護策（ガード等の安全防護物による保護方策）、③付加保護方策（非常停止機能等）、④使用上の情報（警報、安全標識、取扱説明書等）の順にリスク低減対策を行い、最終的な残留リスクを適切なレベルまで下げることとしている[3]。ここで、本質的安全設計方策のみが危険源を除去できる唯一の機会であり、上位の方策での十分な対応が実際的には可能でない場合のみ下位の方策を使用することができるとされている点が、機械の安全設計において重要となる。この考え方に照らして、現在の農業機械において、上述の①～④の要件で対応していない構造等があると判断される項目を、実機および取扱説明書等で調査し、整理した結果を表１に示した。特に本質的安全設計において、多くの該当項目が確認された。

このうち「NO接点の安全スイッチ」については、例として自脱コンバインの手こぎ部に採用されている非常停止ボタンが挙げられる。NO（Normally Open）接点のスイッチでは、通常は回路が開いた状態で、危険発生時にボタン操作で回路が閉じ、エンジン停止となるため、回路が断線していたりカプラを外したままになっていたりした場合、危険発生時に非常停止ボタンを操作してもエンジンは停止できず、また、このような故障状態にあってもエンジン始動が可能ということになる。NC（Normally Closed）接点のスイッチを用いた設計であれば、断線等の故障状態では通常閉じているはずの回路が開いたままになるため、エンジンは始動できず、使用中に断線等が発生すれば、非常停止ボタン操作と同様の状態となり、エンジンは停止する。後者のように、故障等による不具合発生をあらかじめ想定し、常に安全側（この場合は機械停止、始動防止）に制御する設計（フェイルセーフ）は、本質的安全設計を実現する考え方のひとつであるが、農業機械においては、これに該

当しない設計が多く見られるのが現状であった。また、これに加えて、スイッチを解除操作しない限り停止状態を維持する自己保持型となっていない等、非常停止に関する関連規格に該当しない点が多く、今後の対策が不可欠と考えられた。

表１　ISO 12100:2010 の各保護方策に対する農業機械での未対応項目

| ISO12100における保護方策 | 未対応の構造等が認められる主な要件 | 具体例 |
|---|---|---|
| 本質的安全設計 | 死角の低減 | コンバイン等 |
| | 安全距離の寸法要件 | 旧ISO規格で対応 |
| | 適切な作業位置への接近性を達成する機械形状 | コンバインの手こぎ作業位置 |
| | 騒音・振動からの防護 | 多くの機械において騒音、振動が大きい |
| | ポジティブな機械的作用の原理の適用 | NO接点の安全スイッチが多い（故障時に危険側） |
| | 種々の場所の特性や機械の運動による動的な力を考慮した安定性 | 多くの機械で転倒事故が多い |
| | 意図する使用者の人体寸法、力、姿勢、動作範囲や頻度の考慮 | 女性・高齢者への対応が不十分 |
| | 手動制御器の操作により追加的リスクを生じない | レバー等の間隔（欧州指令には規定あり） |
| | パイプおよびホースの外的影響からの保護 | カバーされていないパイプ、ホース |
| | 意図しない危険な機械の挙動 | コンバインの掻き込みペダル、斜面でのブレーキ操作 |
| | 安全な設計パラメータ（速度等）に制限するシステム設計 | コンバインの手こぎ作業時の搬送速度 |
| | 負荷を持ち上げる機械類の運動範囲を制限内に維持 | フロントローダ等運搬作業時の速度／範囲制限がない |
| | 動力源の起動により作動部分が起動してはならない | 一部トラクタの３点リンク |
| | 主ブレーキシステム故障時の他の減速・停止手段 | 一部は駐車ブレーキが別系統でない |
| | オペレータが制御位置にいることを確実にするための方策 | シートスイッチは一部輸入機や乗用モア等のみ |
| | 設定、保全等の際に他の制御モードを不作動／低リスクにするかイネーブル装置等を使用 | カバー開時もエンジン始動できてしまう |
| | 機械の全ての部品の信頼性 | 信頼性不足による不具合や危険の発生 |
| | 非対称故障モード（フェールセーフ）構成品の使用 | NO接点の安全スイッチが多い（故障時に危険側） |
| | 供給・取出し作業の機械化・自動化による危険源への暴露機械の制限 | コンバインの手こぎ作業 |
| 安全防護 | 機械類の転倒または転落による危険源に対する保護 | 乗用トラクタ（安全キャブ・フレーム）など一部のみ |
| | 機械が指定された制限内に留まるようにする（運動パラメータの制限等）装置 | ブレーキ非連結での走行、カバー開時の始動が可能 |
| | 可動式ガードはインターロック付き（危険源に届くときは起動せず、起動後は届かない） | ほとんどのガード、カバーが対応していない |
| | 他の機械との衝突等を防止する装置 | 被追突事故が多い |
| 付加保護 | 非常停止装置作動後は、これをリセットするまで停止指令の効果を持続 | ほとんどの非常停止ボタンが対応しない |
| | 作業が地上レベルで行えない場合、安全に接近可能なプラットフォームや階段等 | 一部は給油、清掃時に十分なステップ等がない |
| | ガードの無効化を最小にする | 無効化される例が多い |
| 使用上の情報 | 警報装置の定期点検について記述 | ほとんどが対応していない |
| | 頻繁な視覚／聴覚信号の発報による感覚飽和のリスクに対する注意 | 片ブレーキ表示灯は作業中ついたまま |
| | 直ちに理解できる標識（絵文字）は警告文に優先して使用 | 国内規格では文章が必須、絵文字は任意 |
| | 取扱説明書に機械の重心位置を記載 | ほとんどが対応していない |

### ２）農業機械の安全・快適面に関する農業者の不満

農業法人 1750 件、個人農家 1240 件、コントラクタ 383 件を対象に、農業機械の安全・快適面に関する不満についてアンケート調査を行った。不満があると答えた回答者には、機械名と、具体的な不満点の記載を求め、その内容から傾向の分類を行った。

アンケート回収数は、農業法人 313 件（回収率 18%）、個人農家 274 件（同 22%）、コントラクタ 63 件（同 16%）であった。回答者の平均年齢は、農業法人が 54 歳、個人農家が 56 歳、コントラクタが 54 歳とほぼ同等だった。作目（複数回答）については、農業法人、個人農家ともに水稲がそれぞれ 57%、86%と最も多く、次いで野菜、麦・大豆の順であった。

調査結果を図１に示した。安全・快適面については、有効回答 544 件中 28%が、具体的に不満を回答した。内訳としては、快適性（居住性、振動、騒音、粉塵等）関連 24%、機体安定性（機械の転落転倒）関連 14%、走行時（制動性能、灯火類、法対応等）関連 10%、視認性関連 8%、安全装備の不足・不備関連 8%等であった。機種別では乗用トラクタが全体の 50%を占め、快適性、走行時、操作性関連が平均より多かった。自脱コンバインでは快適性とともに安全装備の不足・不備、視界関連が多くを占め、田植機では安定性関連が 38%を占めた。この３機種で全体の約 3/4 を占めた。

これらの不満に対応するためには、付加保護方策や使用上の情報の提供では不十分であり、本質的安全設計の思想を前提とした対策が農業者からも求められていることが確認された。

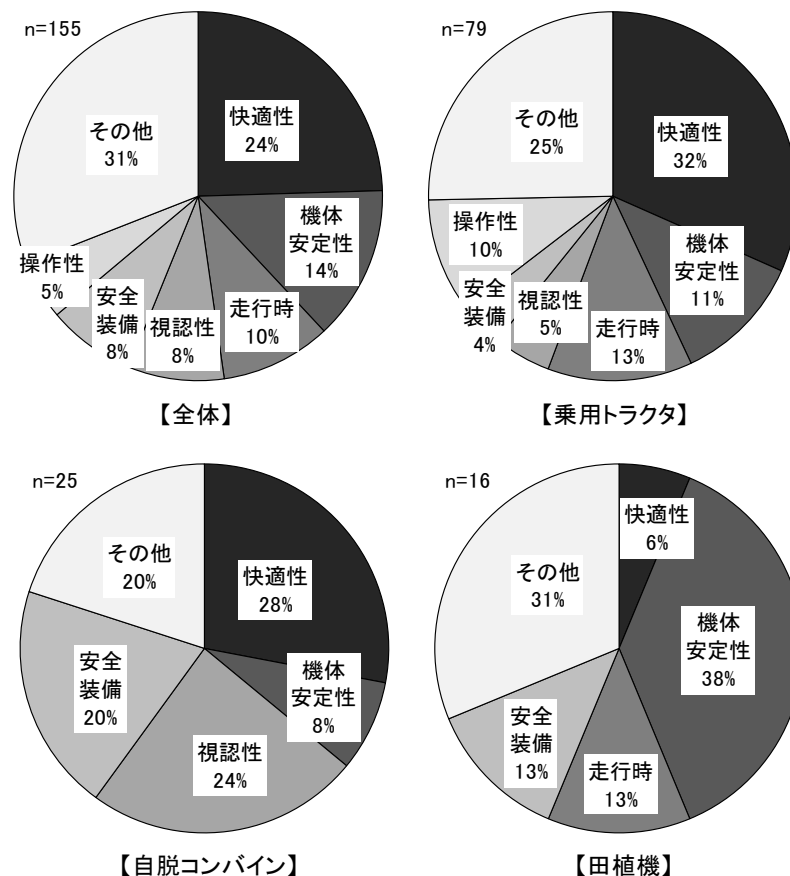



図１　農業機械の安全性および快適性に関する不満の内訳

### ３）性能面の不満と安全・快適性の不満の大きさの比較

上述の２）における設問では、安全・快適面の不満の有無のみを尋ねており、他の不満、特に性能面の不満との順位関係は不明であったことから、農業者の農業法人 1719 件、個人農家 1200 件（配布先は２）とほぼ同等）を対象に、２）で安全・快適面の不満が多かった乗用トラクタ、田植機、自脱コンバインに、事故が多いとされる歩行用トラクタ、刈払機を加えた５機種（以下主要５機種）について、安全・快適面のみならず性能面等も含めて最も不満を感じる点（ただし複数回答の場合は全て集計）とその内容（自由記載）に関するアンケート調査を行った。

アンケート回収数は 548 件（回収率 19%）であった。平均年齢は 56 歳、作目（複数回答）は水稲が 68%、次いで野菜、麦・大豆と、いずれも２）とほぼ同傾向であった。回答者の所有資格については認定農業者 73%、農業機械士 47%、大型特殊免許 66%、けん引免許 40%等となっており、全体に農業機械に関する知識がある程度高いことが推測された。

調査の結果、主要５機種のいずれにおいても、使用者（機種により 325～494 人）の多くが何らかの不満があると回答しており（機種により 20%～39%）、このうち安全・快適面の不満は、機種により 20%～50%を占めた。乗用トラクタ、歩行用トラクタ、刈払機では性能面の不満と同等か、またはそれ以上の割合となっており、使用者の意識の面でも安全・快適面の対策は優先順位が高いことが窺われた。不満の内容については、乗用トラクタ、自脱コンバイン、田植機では２）の結果とほぼ

同傾向となり、歩行用トラクタでは機体安定性や安全装備（後進時やダッシング等）、刈払機では安全装備（飛散物等）、快適性（振動、重量等）が多く回答された。

## ２．予見可能な誤使用事例および危険行動の把握

ISO 12100:2010では、使用者の誤使用であっても、「合理的に予見可能な誤使用」については、設計時に機械側でリスクとして低減すべきとされている[3)]。そこで、農業現場で実際に行われており「予見可能」と考えられる誤使用や危険作業の事例を把握するため、アンケートおよび現地調査を行った。

### １）予見可能な誤使用事例

安全上問題があるものの、実際には作業遂行上行われている誤使用や危険行動について、アンケート（調査対象は１．２）に同じ）および現地調査により事例を把握した。

結果を図２に示した。これらの事例からは、その誤使用に至る理由として、①整備性向上（カバー撤去、ステップ取付）、②作業性向上（停止装置撤去、荷台増設、過小な輪距、補助者同乗）、③視認性向上（座席高さ変更、カバー撤去）等を意図したものが確認された。また、いずれの分類においても、カバーの無効化の事例が見られた。作業効率や利便性を犠牲にした安全機能は、これを重視する作業者による無効化を招くことが産業用機械分野では知られており[4)]、同じことが農作業でも生じていることが明らかになったことから、農業機械の安全機能においても、これらの要望を生じさせないような設計段階での本質的な安全対策の必要性が認められた。

整備性向上
・チェーンがよく外れるのでカバーを外して作業する（にんじん収穫機）
・機械の上にあがるためにステップを増設（ロールベーラ）

視認性向上
・シートを高くして周囲を見やすくした（乗用トラクタ）
・余分なカバーを外して視界を良くしている（ロールベーラ）

作業性向上
・作業中の乗降が多いので安全バーを無効化（スキッドステアローダ）
・前部ウエイト上に荷台を設置した（乗用トラクタ）
・苗供給者が同乗する（田植機）
・輪距を小さく改造した（高所作業機）
・草が詰まるので飛散物防護カバーを撤去した（刈払機）

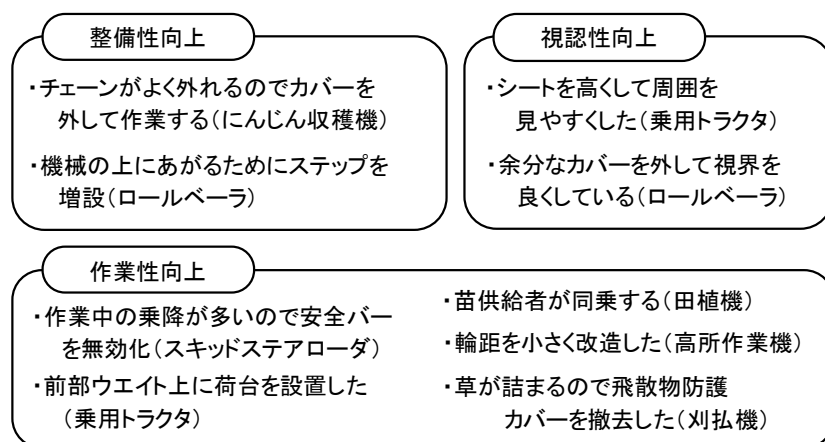



図２　作業遂行上行われている誤使用事例

### ２）作業遂行上行われる危険作業事例

危険を感じるものの実際にはやらざるを得ないと考える機械作業について、機種および内容（自由記載）をアンケート（調査対象は１．３）に同じ）により調査した。

調査の結果、有効回答362件のうち、やらざるを得ない危険作業があるとの回答は47%を占めた。内容としては、乗用機械、歩行用機械に関わらず、ほ場出入時や傾斜地作業等の機体安定性関連が全体の42%と多かった。その他、自脱コンバインでは手こぎ作業や点検清掃が多く挙げられた。手こぎ作業では可動部の停止やガードによる対策が不可能であるため、まずは緊急停止装置の性能向上を図りつつ、将来的には本質的安全設計（巻込まれの前に危険状況を感知して停止する機構や、手こぎ作業

を生じさせない機構等）の導入が適切と考えられた。点検清掃については、これを効率的に行うために該当部位を稼働させて作業する事例が多く、停止状態でも効果的に清掃できる設計が本質的な対策として重要となる。刈払機では飛散物やキックバックの発生が多く挙げられており、飛散物防護カバーを無効化されないように草等の詰まりを減らす設計や、キックバックの未然防止（特に刈刃の右側で作業させない）および発生時のリスク低減（衝撃で刈刃を急停止等）の検討が必要と考えられた。

### ３）農業者の農業機械に対する不満から予見される誤使用および危険行動事例

１．２）で得られた農業者の農業機械に対する不満から予見される誤使用および危険行動事例について整理、検討した結果を、図３に示した。これらの事例は、主に省略行動による危険と、とっさの行動時の危険に分類され、このことからも、省略行動による誤使用が生じにくく、かつ誤使用時に危険側にならないように、本質的な安全設計が重要であることが示された。

**省略行動**

・カバーが多すぎる（コンバイン等）
⇒カバー撤去
⇒点検整備を行わない

・詰まりが多い（コンバイン、刈払機）
⇒カバー撤去
⇒エンジンを切らずにつまり除去

・ウエイト着脱が面倒（乗用トラクタ）
⇒必要時にも付けない

・左右ブレーキ連結が面倒（乗用トラクタ）
⇒必要時に非連結の危険

・点検整備がやりにくい（乗用トラクタ等）
⇒点検整備を行わない

**とっさの行動**

・乗降時にレバーに引っかかる（乗用トラクタ）
⇒乗降時のケガ

・レバーの色分けがない（乗用トラクタ）
⇒とっさのレバー選択を誤る

・掻き込みペダルを踏んだら制動機能がなくなる（コンバイン）
⇒とっさの行動が危険側に

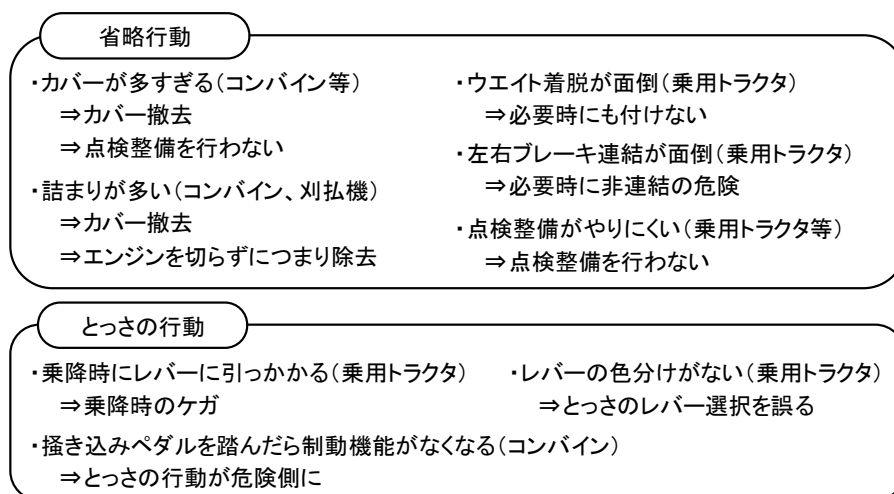



図３　農業機械に対する不満から想定される誤使用例

## ３．農業機械のリスクに対する農業者の受容度合に関する調査および検討

ISO/IEC Guide 51:1999では、安全とはリスクを許容可能なレベルまで低減させることにより達成されるとされている。このなかで、各機械におけるリスクの受容の可否については、農業者は、単に安全性そのものだけでなく、その安全性の実現に要するコストや、それによる作業性や利便性の悪化の程度等も踏まえて、総合的に判断するものと推察される。安全機能と作業性の関係については、２．１）で確認されたように、これを妨げない安全設計が重要となるが、同時に安全機能に関するコストについても農業者の意識を把握する必要がある。また、他業種からの新規農業参入や法人化など、今後農業においても他業種と同等の安全意識や対策が求められる要素も拡大していることから、他業種の技術動向等を確認することも重要である。このため、これらについて各種調査を行った。

### １）安全機能に対する農業者の要求度合とコスト意識

安全機能に対する要求度合とコスト意識を把握するため、新たな安全装置が開発され、購入時にオプション装着できることになったと仮定して、当該装置に対するコスト意識のアンケート調査（調査対象は１．２）に同じ）および分析を行った。安全装置としては、乗用トラクタの転倒転落事故防止目的とした、ほ場出入時や道路走行時に左右ブレーキの連結し忘れを自動的に防ぐ装置を仮定した。

これは、国内の農作業死亡事故では、乗用トラクタの転倒転落による比率が最も大きく[1)6)]、かつ行政の農作業安全運動等により危険性が広く認知されていることから、これを防ぐ当該装置に対しては比較的高いコストが許容されると推測したことによる。

調査分析手法として、商品価格の決定の際によく用いられる分析法のひとつであるPSM（Price Sensitivity Measurement、価格感度分析）[5)]を用いた。設問では、ブレーキ連結忘れの危険性と、これを防ぐ当該機能の概要を説明した上で、以下に示す４つの設問についてそれぞれ金額の記入を求め、金額毎の各回答の占める割合のグラフから、理想価格（購入抵抗が最も少なく、消費者が望むと推定される価格）と上限価格（この価格を超えると高すぎて買わないと感じる価格）を求めた。

**【設問】このようなオプションを付けた場合、その価格が、**
- いくらぐらいから「高い」と思いますか。
- いくらぐらいから「安い」と思いますか。
- いくらぐらいから「高すぎて買えない」と思いますか。
- いくらぐらいから「安すぎて品質が疑わしい」と思いますか。

また同時に、ブレーキ連結忘れによるヒヤリ体験の有無と、妥当価格であった場合に当該装置のオプション装着を希望するかどうかについても回答を求め、関係を分析した。

図４に、PSMによる分析の結果を示した。農業法人（有効回答68件）、個人農家（同81件）ともに、新装置の理想価格は４万円台後半、上限価格は５万円台前半であった。コントラクタからは十分な有効回答数が得られなかったため、分析対象からは除外した。死亡事故に至る危険の高い事故形態の回避につながる装置であり、かつ乗用トラクタのように平均価格の比較的高い機械であっても、安全機能のみで他の付加価値がない場合は、大きな価格上昇は受け入れられにくいことが推察された。

ブレーキ連結忘れによるヒヤリ体験については、有効回答580件中28%が経験ありと回答したが、経験の有無による価格の差はなかった。一方、妥当価格だった場合のオプション追加については、有効回答543件中60%が希望すると回答し、ヒヤリ経験ありに限ると74%に上昇した。このことから、ヒヤリ経験によって対策への問題意識は高くなるものの、コスト負担の許容量の増加までには至っていない傾向が認められた。なお、経営形態、使用トラクタの呼称出力、安全キャブ・フレームの有無による価格の差は見られなかった。呼称出力による差がなかったことにより、安全装置の値頃感は機械の本体価格にも大きく関係しないことも示唆された。

**２）他業種における機械安全の状況**

産業用機械や土工機械等、他業種における機械安全に関する基準や対応状況等の調査を行い、農業機械の現状と比較した。その結果、産業用機械における安全技術は、機械安全に関する国際規格とともに進んできており、規格に対応した装置や部品も供給されていることから、一部は農業機械への応用も可能と考えられた。例としては、ISO 13850:1996やIEC 60947-5-5:2005といった個別の国際規格に対応した非常停止スイッチや、作業状態である中間位置からさらに押し込んでも離しても停止する３ポジションのイネーブルスイッチ（ANSIやISOの産業用ロボットの安全関連規格におけるティーチング操作装置の要求事項に採用）、一定の条件が整わないと他の動作ができないインタロック等が挙

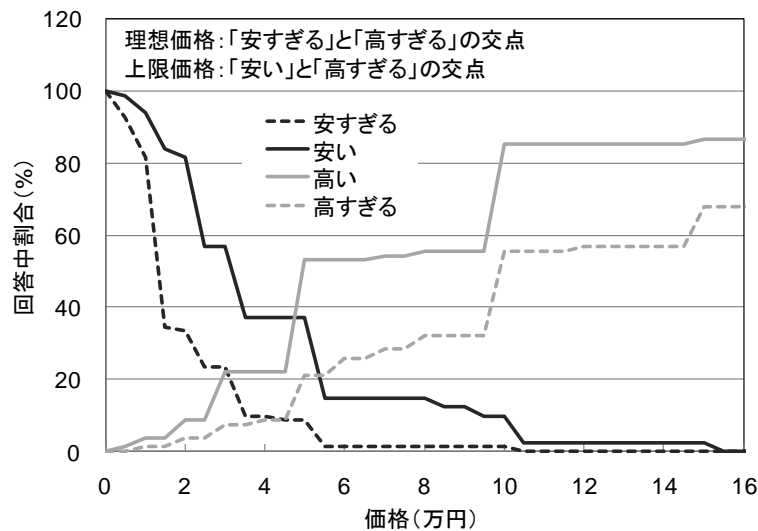



**図４　乗用トラクタの左右ブレーキ非連結防止装置に対するPSMによる分析結果（個人農家）**

げられた。土工機械の国内規格では、特にステップ構造、手すり、操作装置の配置と操作力について、農業機械の安全鑑定基準等よりも詳細に規定していた[7)]。特に操作力については、レバーの操作方向（前後と左右）やペダルの操作方法（足操作とつま先操作）でそれぞれ基準値が設定されていたほか、操作頻度も考慮されており、農業機械においても参考になると考えられた。

また、他業種では、可動部の防護に関する安全距離の基準として、ISO 13857:2008が採用されているが、これに対して農業機械の安全鑑定基準では、それより以前の規格であるISO 4254-1:1989を用いている。前者では、一部の到達位置について、基準値として危険源に高いリスクが見込まれる場合と低いリスクの場合の２種類が規定され、リスクアセスメントの結果に基づいて適切な方を選択することとなっている。農業機械の安全鑑定においては、機種・部位別にリスクアセスメントを実施することが現状では難しいこともあり、旧規格が引き続き採用されているが、他業種ではすでに前者が普及してきていることから、今後は農業機械の基準においても検討が必要と考えられた。

### ３）他業種の経験を有する農業者から見た農業機械および農作業の安全性

他業種での労働経験のある農業者に対し、農業機械および農作業について、他業種と比較した場合の安全性の差の有無と、差がある場合はその内容についてアンケート調査（調査対象は１．３）に同じ）を行った。その結果、農業機械および農作業の安全性については、それぞれ27%（有効回答177件）、18%（同124件）が、他業種と比して低いと答えた。差の内容としては、農業機械では機械の機体安定性、安全装置の不足、防護等、作業については機械操作に資格がないことや安全管理の不足等が挙げられた。

## ４．主要な農業機械における今後の安全上の対策項目

１．１）で農業機械に未対応のものがあると判断されたISO 12100:2010の各項目から、他の各調査分析で得られた農業者の安全機能に対する要望やコスト意識、他業種の技術動向、危険作業の実態等を踏まえて、主要５機種において今後対策が必要と考えられる項目を抽出、整理した結果を表２に示した。

### 表２　主要５機種において安全上求められる対策項目

| 機種 | 本質的安全設計関連 | 安全防護、付加保護関連 | 使用上の情報、その他 |
|---|---|---|---|
| 乗用トラクタ | 機体安定性向上（ウエイトの着脱簡易化等）<br>旋回時前輪増速装置の高速時けん制強化※<br>駐車ブレーキと走行ブレーキの独立※<br>片ブレーキの誤操作防止 | ROPSの不適正使用防止（警報等）<br>シートベルト非着用防止（巻取式の適用拡大等）※ | 作業機装着時バランスや必要ウエイトの記述※<br>空調性能の向上<br>窓の開度の多段化※ |
| 歩行用トラクタ | 機体安定性対策（過度の傾斜や衝撃でエンジン停止等）<br>後進時の作業部駆動停止＊<br>ダッシング対策（走行部中立時は作業部起動切等） | デッドマンクラッチ、挟圧防止装置の適用拡大※ | |
| 田植機 | ほ場出入時の安全性向上（降車操作の適用拡大等）<br>ほ場出入時の高速度段けん制<br>斜面でのブレーキ操作時の安全性確保 | 転倒時運転者保護構造物の採用<br>フロアからの滑落防止性能向上 | |
| 自脱コンバイン | 死角の低減（バックモニタ等）※<br>斜面での掻込ペダルやブレーキ操作時の安全性確保※<br>手こぎ作業の安全化または回避 | 転倒・挟圧時運転者保護構造物の採用 | 空調性能の向上 |
| 刈払機 | 軽量化、またはベルトの改良<br>キックバック対策（適切な作業を促す間接的対策も）※<br>固定スロットルレバーの不採用＊ | 機関停止時の刈刃即時停止※<br>腰ベルトの装着※<br>草等が詰まりにくい飛散物防護カバー（無効化対策）＊ | |
| 複数機種にまたがるもの | 現行規格に則った安全距離（カバー形状等）<br>騒音対策、振動対策の強化※<br>ステップや手すり、操作系統の位置、形状<br>操作力の改善<br>カバー等へのインターロックの採用と整備性向上<br>現行規格に則った緊急停止装置（NC接点化等） | 反射板、低速車マーク※ | 安全装置の定期点検の記述※ |

＊安全鑑定基準では対応済であるものの、市場では未対応の型式が存在するもの
※メーカ・型式（過去のものも含む）によっては対応済のものがあることが確認されているもの

## ５．本研究結果を踏まえた新たな展開

### １）新たな安全技術の検討

本研究結果から、新たな安全技術の開発や安全鑑定基準の検討につなげることができ、生研センターでは、すでに一部取組みを進めている。

表２に示されたうち、乗用トラクタの片ブレーキ誤操作防止機構、および自脱コンバインの手こぎ作業安全性向上については、2011年度から、国内トラクタおよびコンバインメーカー全社の参画のもと共同研究を開始している。また、後者の研究課題においては、本課題の成果を踏まえ、手こぎ部の非常停止ボタンのNC接点化等、安全規格への適合化も要件に掲げている。両課題とも、研究期間終了後、順次全ての市販機に当該安全装置が装備される予定である。

さらに、巻込まれ事故に対しては、本質的安全設計を実現するための要素技術として、巻込まれる前に作物等の供給物と作業者を判別し、事故を未然に防止する技術についても研究を行っている。

### ２）農業機械による事故の詳細調査・分析

リスク低減方策の優先順位等を検討するにあたっては、事故要因とその発生頻度を把握するための詳細な事故分析も重要となるが、冒頭でも記したとおり、現状ではその基となる詳細な事故調査データが得られない。このため、2011年度より、より詳細な事故情報について収集、分析を行うべく、新たな研究を開始している。具体的には、まず死亡事故が多い乗用トラクタ、負傷事故が多い刈払機を対象に、効率的かつ効果的に必要な情報収集を行うための調査票の開発と、得られた事故情報の分析手法の検討を行う。同時に、独自の事故調査の枠組みを持つ道県と連携し、実際の調査データ等を基に、事故発生原因および作業条件や作業環境等との因果関係を明らかにすることとしている。

医療、交通、製品安全等の他分野では、様々な事故分析手法を業態に応じて改良して用いており、これを参考に分析手法を検討した結果、農作業事故については、個別事故について限られた情報から効果的に事故の要因を抽出するミクロ分析と、その結果を集約して全体的な事故要因の傾向を把握す

るマクロ分析の組合せが必要と考えられた。そこで、前者には、事故事象を当事者とソフトウェア、ハードウェア、環境、他者との関係ごとに検討するSHELモデルに、要因を事故発生前/発生時/発生後の各段階で検討するHaddon Matrixの理論を組み合わせた分析マトリクス、後者には、ある事故が発生する要因を順に枝分けし、事故と根本的な要因の関係を把握するFTA（Fault Tree Analysis、故障の木解析）を応用して、新たな分析手法を構築することとした。

本分析手法を用いて、実際の事故詳細調査データのうち乗用トラクタの転落転倒死亡事故を分析した結果、各事故要因の抽出や発生頻度の把握が可能であることが確認されたほか、FTAの事故発生確率の算出理論を応用することで、各要因の発生頻度および事故発生メカニズムに基づいた、要因別の事故防止への影響度の順位が得られ、効果的な事故対策の策定に活用できる可能性が見出された。

今後は、協力先の道県と連携して当該２機種の詳細事故情報を継続して収集し、調査項目や調査票の検討と分析を進めるほか、本分析手法の他機種等による事故への適用性についても検討する予定である。

## おわりに

本研究は今後の農業機械に関する安全対策における基礎資料となるものであり、得られた知見を踏まえた新たな取組みを、関係する研究、行政、メーカ等が連携して鋭意進めていくことが求められる。

本研究における農業法人、個人農家、コントラクタへのアンケート用紙送付にあたっては、(社)日本農業法人協会、(社)日本農業機械化協会、全国農業機械士協議会、(社)日本草地畜産種子協会からそれぞれご協力をいただいた。研究を進めるにあたっては、(独)労働安全衛生総合研究所、IDEC(株)、テュフラインランドジャパン(株)からご指導や資料、情報のご提供をいただいた。現地調査では、北海道、徳島県、広島県から多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

１）農林水産省（2011）、平成21年の農作業死亡事故、機械化農業、2011年8月号、17-20
２）ISO／IEC Guide 51:1999、Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards
３）ISO 12100:2010、Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction
４）Adamsら（2006）、安全装置の無効化をいかに回避するか、機械設計、2006年8月号、55-58
５）加藤（2007）、PSM（価格感度分析）、最新マーケティングリサーチ・テクノロジー全集、171-173、日本能率協会総合研究所
６）日本農業機械化協会（2002）、農作業死亡事故の現状、農作業安全のための指針[関係資料]、4-12、日本農業機械化協会
７）JIS A 8919:2007、土工機械－操縦装置